

جامعـــــة تشـــــرين

كلية الهندسة المــدنية

قسم الهندسة الإنشائية

مساهمة في دراسة سلوك عقد الإطارات البيتونية المسلّحة تحت تأثير حمولات زلزالية

رسالة علمية أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة المدنية

اختصاص هندسة إنشائية

إعداد الطالبة

المهندسة: رانيا يوسف الشيخ

بإشراف

أ.د. بسام حويجة

العام الدراسي

2010–2009

قُدّمت هذه الرسالة استكمالاً لمتطلبات نيل درجة الماجستير في الهندسة الإنشائية من كلية الهندسة المدنية في جامعة تشرين.

This thesis has been submitted as a partial fulfillment of the requirement for the degree of Master in Structural Engineering at the Faculty of Civil Engineering, Tishreen University.

تصريح

أُصرّح بأنّ هذا البحث " **مساهمة في دراسة سلوك عقد الإطارات البيتونية المسلّحة تحت تأثير حمولات زلزالية**" لم يسبق أن قُبل للحصول على شهادة، ولا هو مُقدّم حاليّاً للحصول على شهادة أخرى.

اسم **المُرشّح**

رانيا يوسف الشيخ

تاريخ: / /2010

DECLERATION

This is to declare that, this work "A Contribution to Study the Behavior of Beam-Column Joints of RC Frames under the Effect of Seismic Loads" has not been being submitted concurrently for any other degree.

Candidate name

Rania Yousef Al-Shiekh

Date: / /2010

نوقشت هذه الرسالة بتاريخ   /   / 2010 وأُجيزت.

لجنة الحكم:

الدكتور نادر نبيل أنيس

....

المرتبة العلمية: أستاذ، الاختصاص: بيتون مسلّح، قسم الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة المدنية، جامعة حلب

الدكتور بسام حويجة

....

المرتبة العلمية: أستاذ، الاختصاص: بيتون مسلّح، قسم الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين

الدكتور نايل حسن

....

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد، الاختصاص: ميكانيك بناء، قسم الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين

كلمة شـــــكر

ACKNOWLEDGMENT

أتقدم بكل الشكر والتقدير لإدارة كلية الهندسة المدنية في جامعة تشرين لما قدمته مـــن تسهيلات ومساعدات في سبيل إنجاز هذا العمل وأخص بالشكر الكبير أستاذي المشرف:

الأستاذ الدكتور بسام حويجة

الذي تفضّل مشكوراً بالإشراف على هــذه الأطروحــة بــدون تــوفير أدنـــى الجهــود والمعلومات لإخراجها على ما هي عليه الآن.

كما أتقدم بالشكر والامتنان للسادة:

الدكتورة المهندسة هالة حسن & الدكتور المهندس نبيل دبانة

على وقتهم ومساعدتهم الكبيرة في سبيل إنجاز وتسهيل هذا العمل

رانيا

شهادة

نشهد بأنّ هذا العمل الموصوف في هذه الرسالة "**مساهمة في دراسة سلوك عقد الإطـــارات البيتونيـــة المسلّحة تحت تأثير حمولات زلزالية**" هو نتيجة بحث علمي قامت به المرشّحة المهندسة رانيا يوســـف الشيخ بإشراف الدكتور بسام حويجة (أستاذ في قسم الهندسة الإنشائية في كلية الهندسة المدنية بجامعـــة تشرين، اللاذقية، سورية)، **وإنّ أي** مرجع ورد في هذه الرسالة موثّق في النص.

المُرشّحة	**بإشراف**
م. رانيا الشيخ	**أ.د. بسام حويجة**

تاريخ: / /2010

CERTIFICATION

It is hereby certified that, the work described in this thesis "A Contribution to Study the Behavior of Beam-Column Joints of RC Frames under the Effect of Seismic Loads" is the results of Ms. Rania Al-Shiekh own investigations under the supervision of Dr. Bassam Hwaija (Professor in Dept. of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, SYRIA), and any reference of other researchers work has been duly acknowledged in the text.

Candidate	**Supervisor**
Rania Al-Shiekh	**Prof. Dr. Bassam Hwaija**

Tishreen University
Civil Engineering College
Structural Department



A Contribution to Study the Behavior of Beam-Column Joints of RC Frames under the Effect of Seismic Loads

A Thesis Prepared to Acquire Master Degree in Structural Engineering

Submitted By
C.E. Rania Yousef Al-Shiekh

Supervisor
Prof. Dr. E. Bassam Hwaija

2009-2010

فهـــــرس المحتـــــويـــات

المحتويات | رقم الصفحة

الفصل الأول

الدراسة المرجعية

الفصل الثاني

الدراسة التحليلية

2-1- مقدمة

2-2- البرنامج التجريبي المختار

2-2-1- وصف العينات

2-3- المنهج التحليلي والمحاكاة باستخدام برنامج ANSYS

2-3-1- برنامج التحليل ANSYS

2-3-2- المراحل الأساسية في عملية النمذجة بـــ (FEM)

2-3-3- نمذجة العناصر الإنشائية البيتونية باستخدام طريقة العناصر المنتهية (FEM).

2-4- نمذجة العناصر الإنشائية

2-4-1- نمذجة البيتون المسلّح

2-4-2- نمذجة فولاذ التسليح

2-4-3- نمذجة صفائح التحميل

2-5- البرنامج التحليلي

2-5-1- إدخال خصائص المواد وفق برنامج ANSYS

2-5-1-1- البيتون

2-5-1-2- فولاذ التسليح (الطولي والعرضي)

2-5-1-3- صفائح التحميل

2-5-2- نمذجة الشكل الهندسي

2-5-3- تقسيم النموذج إلى عناصر (Meshing)

2-5-4- الشروط الطرفية للوصلات المنمذجة

2-5-5- تطبيق الحمولات على الوصلات المنمذجة

2-5-6- التحليل اللاخطي للنموذج

2-6- التحقق من المحاكاة المعتمدة

الفصل الثالث

النتائج التحليلية والمقارنة

3-1- مقدمة

3-2- دراسة أنماط التشققات

3-3- دراسة الانتقال الحاصل في طرف الجائز

3-4- دراسة الدوران

3-4-1- دراسة دوران مقطع العمود

3-4-2- دراسة دوران مقطع الجائز المجاور لوجه العمود

3-4-3- مقارنة مغلف مخططات (دوران- حمولة) للجائز والعمود لكل من العينات الثلاثة المدروسة (C_1,C_2,C_3)

3-5- دراسة القص في العقدة

3-5-1- مقارنة إجهاد القص المتوسط للعينات (C_3,C_2,C_1)

3-5-2- حساب القص الأعظمي في العقدة وفق (ACI 352-02)

3-5-3- دراسة توزع القص على سطح العقدة

المقدمة

- مقدمة عامة
- الهدف من البحث
- الخطوط العامة للرسالة

المراجع

- المراجع الأجنبية
- المراجع العربية

الاستنتاجات والتوصيات

- الاستنتاجات
- التوصيات

الملخص

ABSTRACT

مقدمة البحث

Introduction

- **مقدمة عامة (General Introduction):**

تعتبر الزلازل من الظواهر الطبيعية الناتجة عن اهتزاز القشرة الأرضية، وتقود في بعض الأحيان إلى كوارث مدمرة من تهديم للمنازل وقتل للناس بالإضافة إلى الآثار النفسية والاقتصادية والسياسية التي تسببها هذه الظاهرة، والزلزال بحد ذاته لا يعتبر مشكلة، حيث تظهر المشكلة في المنشآت التي تتعرض لقوى زلزالية وتتحول أثناء الزلزال إلى سلاح مدمر يجلب الخراب و الدمار.

ومن أجل أن تكون المنشأة قادرة على الصمود بوجه القوى الزلزالية يجب أن تكون قادرة على امتصاص أو تبديد الطاقة الإضافية المنتشرة في المنشأ أثناء الزلزال، إن فهم مسألة التوازن بين الطاقة الداخلية و الخارجية في المنشأ كان المدخل لتصميم المنشآت المقاومة للزلازل والتي اتخذت اتجاهين رئيسيين:

1- تصميم المنشآت بحيث تكون عناصرها الإنشائية قادرة على تبديد كمية معتبرة من الطاقة المنتشرة في المنشأ من خلال السماح لها بالتشوهات اللامرنة، مع أقل درجة ممكنة من الضرر في هذه المنشآت.
2- العزل الزلزالي للمنشآت وبالتالي القدرة على التحكم في كمية الطاقة المنقولة إلى المنشأ، واستخدام مخمدات خاصة للطاقة من أجل التقليل من الضرر الحاصل في المنشأ.

الاتجاه الأول في التصميم هو الاتجاه الأكثر شيوعاً ولا يحتاج إلى تكنولوجيا متطورة إضافية في عمليات التشييد، بل باستخدام نفس تقنيات التشييد التقليدية في أغلب الأحيان، وبالقيام بحسابات إضافية بسيطة لكميات وترتيب التسليح في العناصر الإنشائية اعتماداً على كودات زلزالية متخصصة نحصل على عناصر إنشائية مقاومة للزلازل.

وبالرغم من التوصل إلى العديد من الطرائق الحديثة لمقاومة أحمال الزلازل يبقى الهيكل البيتوني المؤلف من إطارات و جدران قصية الوسيلة الأكثر استعمالاً في العالم لمقاومة الزلازل، يعود هذا إلى سهولة تنفيذ الهيكل البيتوني من ناحية وإلى انخفاض كلفته من ناحية أخرى.

إن عملية تصميم هذا الهيكل يتطلب مجهوداً كبيراً من طرف المهندس الإنشائي إذ أنه لا يقتصر فقط على حساب وتحليل النموذج تحت تأثير الأحمال الزلزالية (ستاتيكي مكافئ أو ديناميكي مباشر)،

ومن ثم تصميم المقاطع من أجل مقاومة هذه الأحمال بل يتطلب خطوات إضافية، هذه الخطوات تشمل دراسة كاملة لكل وصلة من وصلات الهيكل البيتوني لتأمين تشكل المفاصل اللدنة في الجيزان و ليس في الأعمدة، و تشمل أيضاً دراسة كاملة لتصميم وتفصيل العقد لتجنب انهيارها، وهذه الخطوات هي خطوات ضرورية تمنح الهيكل البيتوني مقدرة على السلوك المتجانس والمتكامل بين عناصره وبدونها لا يمكن اعتباره مصمم لمقاومة الزلازل.

- **الهدف من البحث (Objectives of Research):**

يهدف هذا البحث إلى دراسة سلوك وصلات جائز-عمود طرفية خاضعة لحمولات دورية محاكية للحمولات الزلزالية، وتقييم هذا السلوك من ناحية أنماط التشققات وأشكال الانهيار، القص في العقدة، دوران مقطع الجائز المجاور لوجه العمود، وصلابة العقدة على الدوران.

وستتم دراسة هذا السلوك تحت تأثير بارامترين وهما، الحمولة المحورية على العمود، وتطويق منطقة العقدة بالأساور، حيث يعمل هذان البارامتران على تحسين سلوك العقدة وتحسين آليات نقل القص فيها.

- **الخطوط العامة للرسالة (Outlines of Thesis):**

تتألف الرسالة من ثلاثة فصول، حيث يتضمن الفصل الأول استعراض مرجعي لمعظم ما يتعلق بوصلات جائز- عمود والاطلاع على ما تمّ من دراسات وأبحاث علمية منشورة في المجلات العلمية والانترنت، ويتضمن الفصل الثاني الدراسة التحليلية والتعريف ببرنامج التحليل ANSYS واختيار البرنامج التجريبي ونمذجة عينات وصلات جائز- عمود المراد إجراء المحاكاة لها والتحقق من فعالية المحاكاة المعتمدة من خلال مقارنة النتائج التجريبية مع النتائج التحليلية، كما يتضمن الفصل الثالث النتائج التحليلية وعرض لتأثير البارامترات المدروسة على سلوك وصلات جائز- عمود، وأخيراً تم عرض استنتاجات وتوصيات البحث.

الفصل الأول

الدراسة المرجعية

Reference Study

1-1- مقدمة (Introduction):

تشكل عقد جائز- عمود مناطق حرجة ويمكن اعتبارها أكثر الأجزاء ضعفاً في الإطارات البيتونية المسلّحة المقاومة للعزوم، حيث تخضع إلى قوى وتشوهات كبيرة تحت التحميل الزلزالي، في الواقع إن سلوك العقدة له تأثير هام على استجابة المنشأ وإن التضرر الخطير الحاصل في العقدة يمكن أن يهدد سلامة المنشأ ككل.

يُفترض في التحليل الإنشائي أن وصلة جائز- عمود هي عقدة صلبة (rigid)، لذلك يجب الاهتمام بتصميمها وترتيب التسليح فيها بحيث نضمن أن هذه العقدة تحافظ على مقاومتها وصلابتها لكي تكون قادرة على نقل الحمولات من الجيزان والأعمدة التي تخضع لتشوهات لدنة كبيرة.

تمتلك العقدة طاقة تحمّل محدودة نتيجة وجود حدود لمقاومة المواد المكوّنة للجيزان والأعمدة، حيث يحدث الانهيار في العقدة نتيجة النقص في المقاومة والصلابة التي تؤدي إلى زيادة كبيرة في الانتقالات الجانبية للإطار البيتوني، وفقدان الاستقرار الممكن حدوثه نتيجة تأثير $P\text{-}\Delta$ (الانحراف الجانبي).

إن إصلاح العقدة المتضررة هو عملية صعبة، بالتالي يجب تلافي حدوث التضرر الكبير في العقدة عن طريق وضع تصاميم مناسبة لها وهذا يتطلب من المصممين معرفة كافية بسلوك العقدة وآليات الانهيار.

الهدف من هذا الفصل هو إعطاء فكرة عامة عن سلوك وآليات انهيار عقدة جائز- عمود تحت تأثير التحميل الزلزالي، وكذلك عرض آليات نقل القص في العقدة والبارامترات الرئيسية المؤثرة على هذا السلوك، وأخيراً عرض لخلاصة نتائج بعض الدراسات السابقة التي تمت على العقد خلال السنوات الماضية.

1-2- تعريف وصلة جائز- عمود [1]:

(Beam- Column Connection Definition)

الوصلات في الهياكل البيتونية المسلحة (Beam-Column Connections) تتألف من جملة الأعمدة و الجيزان والبلاطات المتلاقية في نقطة واحدة. أما العقد (Beam-Column Joints) في الهياكل البيتونية المسلحة فهي أجزاء من الأعمدة، تحدد نهايات كل عقدة بالارتفاع الكلي للجائز الموصول مع العمود. وفي حال اتصال أكثر من جائز مع العمود (كما هو الحال في معظم العقد) تكون العقدة هي الجزء من العمود الذي يحصره الجائز الأعمق.

1-3- تصنيف الوصلات:

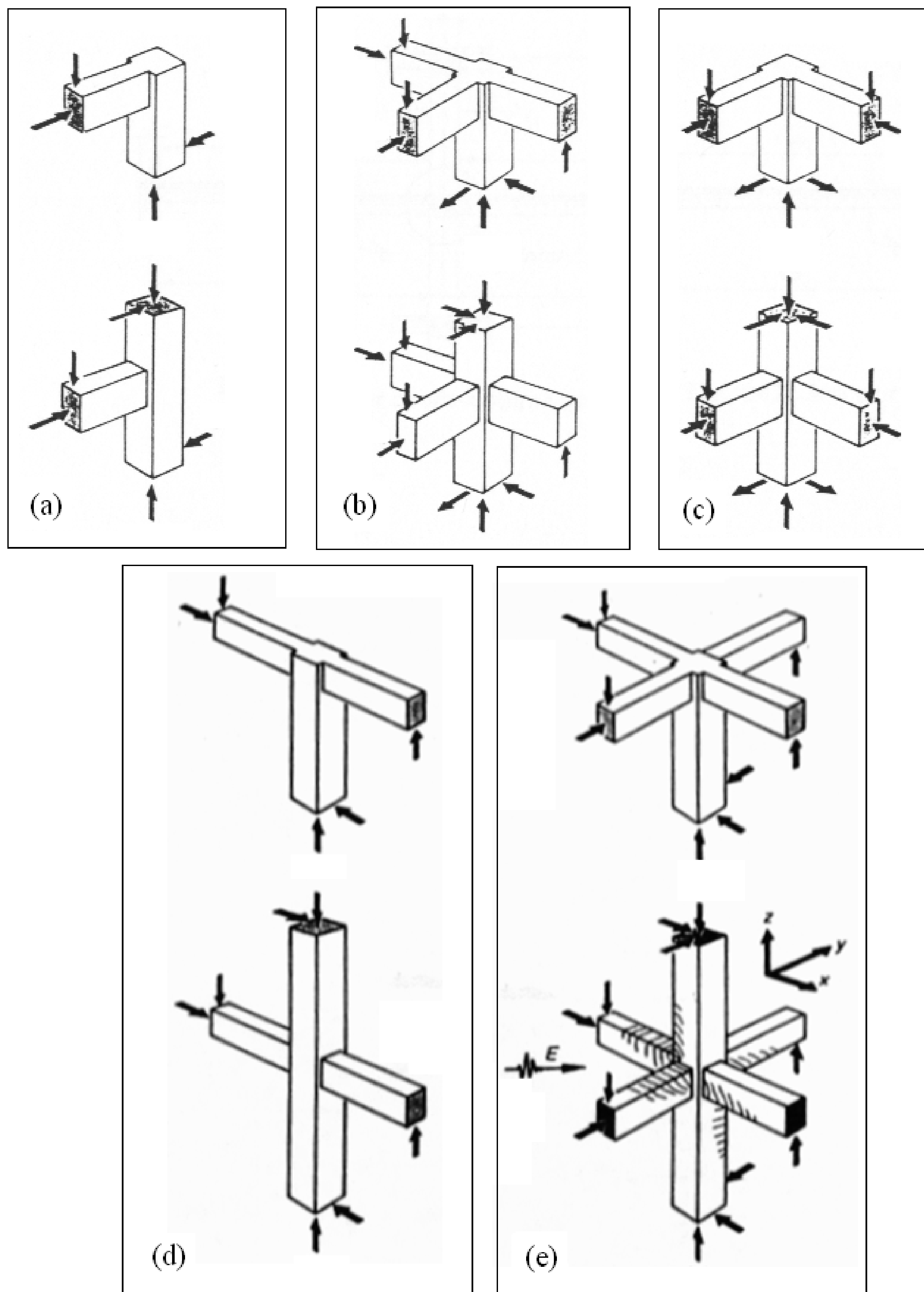
(Classification of Beam- Column Connections)

1-3-1- تُصنف الوصلات وفق لجنة المعهد الأمريكي للبيتون (ACI 352) [1] إلى:

- المجموعة الأولى: الوصلات من هذا النوع مؤلفة من عناصر مصممة لترضي متطلبات المقاومة في الكود الأمريكي (ACI 318-02) [3]، باستثناء الفصل 21، أي الوصلات في الإطارات البيتونية غير المخصصة لمقاومة أحمال الزلازل.
- المجموعة الثانية: في الوصلات من هذا النوع تُصمم العناصر الإطارية لتحتفظ بالمقاومة تحت تأثير الحمولات الدورية، ضمن النطاق اللدن وهي وصلات في الإطارات البيتونية المسلحة المخصصة لمقاومة أحمال الزلازل المصممة بالانسجام مع (ACI 318-02) [3] الفصول (21.2.1.3) و (21.2.1.4).

1-3-2- يمكن تصنيفها وفق شكلها الهندسي إلى [21]:

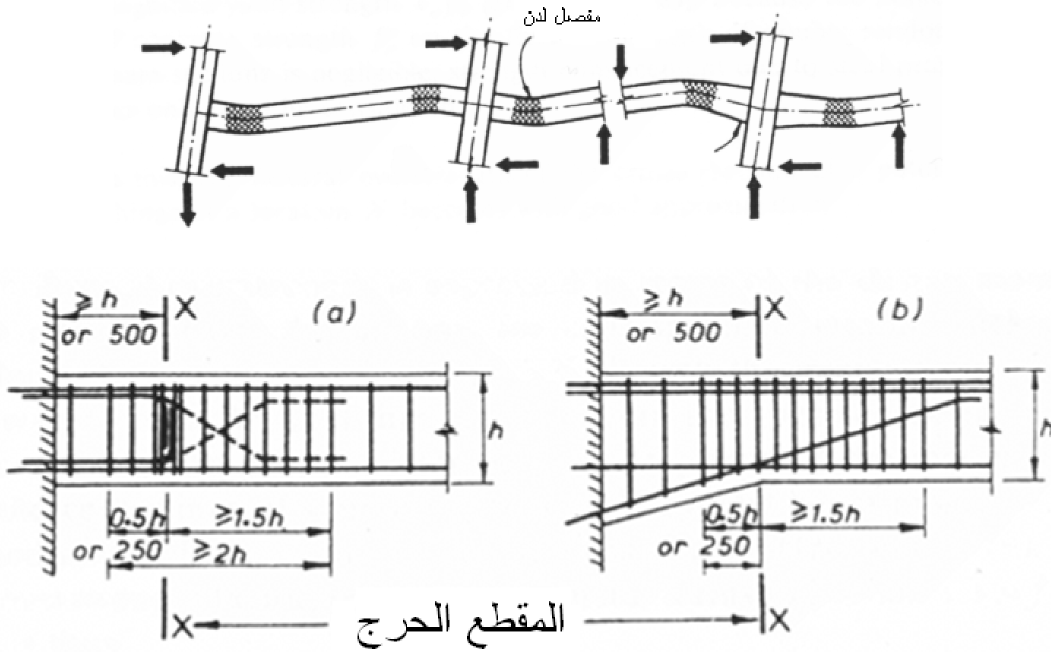
- عقد طرفية في إطارات مستوية الشكل(1-1a).
- عقد طرفية في إطارات فراغية الشكل(1-1b).
- عقد ركنية في الطابق الأخير والطوابق المتكررة الشكل(1-1c).
- عقد داخلية في إطارات مستوية الشكل(1-1d).
- عقد داخلية في إطارات فراغية الشكل(1-1e).



الشكل (1-1): أشكال الوصلات.

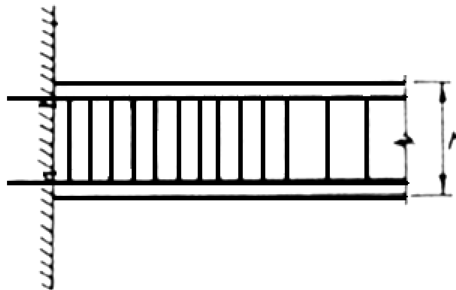
1-3-3- ويمكن تصنيفها وفق سلوكها الإنشائي إلى [21]:

- العقد المرنة: وتوجد في الإطارات التي تصمم على أساس الجائز الضعيف- العمود القوي حيث يتم ترحيل المفاصل اللدنة المحتملة في الجيزان مسافة ما بعيداً عن وجه العمود عن طريق تفصيلات تسليح خاصة بالمفصل اللدن مبينة في الشكل (1-2).



الشكل (1-2): تفصيلات المفاصل اللدنة المتوضعة بعيداً عن وجه العمود.

- العقد غير المرنة: تُدعى العقدة عقدة غير مرنة عندما يتوقع نشوء المفاصل اللدنة خلال الزلازل في نهايات الجيزان المجاورة مباشرةً للعقدة فبعد بضع دورات من التحميل الدوري في النطاق غير المرن من غير الممكن منع ظهور تشوهات غير مرنة ضمن العقدة ويحدث ذلك بشكل رئيسي نتيجة لانتقال التشوهات غير المرنة على طول قضبان تسليح الجائز إلى داخل العقدة وعندها نحتاج لكمية أكبر من تسليح القص للعقدة.



الشكل (1-3): تفصيلة المفاصل اللدنة المتوقع نشوءها عند وجه العمود.

1-4- مبادئ التصميم الأساسية (Basic Design Principles):

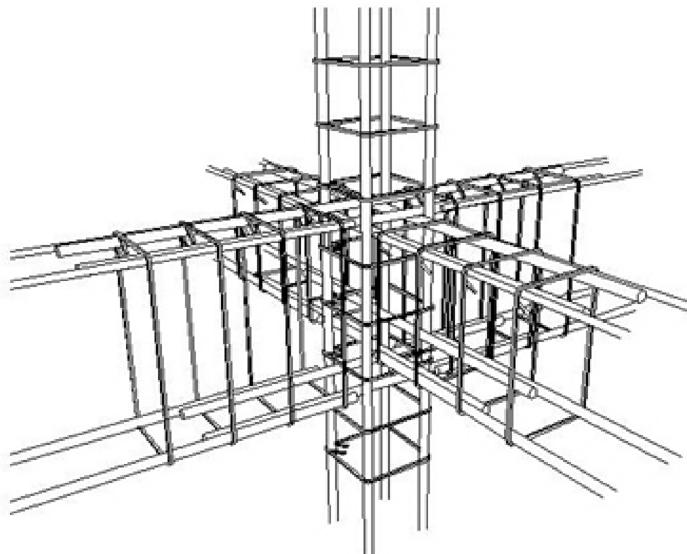
لما كانت الوصلات والعقد تشكل المناطق الحرجة في الإطارات البيتونية المخصصة لمقاومة أحمال الزلازل فقد بدأت الأبحاث على سلوك وصلات جائز- عمود تحت تأثير الأحمال الدورية في أواخر العام 1960 وتطورت حتى الوقت الحالي وقد وصلت إلى وضع تصاميم منطقية لها تعتمد على مبادئ أساسية يمكن أن تلخص كما يلي [22] [21] [19]:

1- إن مقاومة العقدة يجب ألاَّ تقل عن مقاومة أضعف عنصر متصل بها، حيث أن منطقة العقدة صعبة الإصلاح.

2- إن انهيار معظم الإطارات البيتونية ينتج عن انهيار الأعمدة أو الجيزان في منطقة الوصلات فمن الممكن محاولة التحكم بهذا الانهيار وإلزام حصوله في الجيزان حصراً بحيث تتشكل فيها مفاصل لدنة ذات مطاوعة عالية تقبل دورانات كبيرة تمتص بها الطاقة المتولدة خلال الزلزال دون أن تفقد مقداراً كبيراً من مقاومتها أو من صلابتها.

3- تصميم العقد بشكل يسمح لها بالمحافظة على مقاومتها وصلابتها فتؤمن ترابطاً سليماً بين الجيزان والأعمدة وتقوم بمهامها خلال الزلزال بشكل مقبول.

4- إن التسليح اللازم لتحقيق الوصلة لمقاومة الزلازل يجب ألاَّ يسبب صعوبات تنفيذية ناتجة عن كثافة التسليح في منطقة الوصلة.



الشكل (1-4): تفصيلة تسليح العقدة.

إن إمكانية تحقيق جميع الاحتياجات السابقة يعتمد أولاً على نوع الوصلة، حيث تظهر الكثير من المصاعب في حالة الوصلات الداخلية وربما الوضع يكون أسهل في حالة الوصلات الطرفية بينما في

حالة الوصلات المتوضّعة في أعلى الإطارات فإن المصاعب تكون أقل بكثير وهنا لا حاجة إلى تحقيقات إضافية.

1-5- آلية الانهيار (Mechanism of Failure):

إن القوى الداخلية العظمى وخاصة عزم الانعطاف في الجيزان والأعمدة الناتجة عن حمولات الزلازل تتركز في مناطق الوصلات، مما يجعلها أكثر مناطق الإطار البيتوني خطورة. لذلك فإن أي خلل في سلوك الوصلات ينعكس بشكل مباشر ورئيسي على سلوك الإطار بالكامل. من هذا المنطلق ومع تعدد صعوبات تحديد سلوك البناء خلال الزلازل فقد تمت معالجة الوصلات بطريقة عكسية إذ يتم تحديد نقاط ضعف معينة في الإطار لتتركز فيها النشاطات غير المرنة عند تعرض البناء إلى تشوهات كبيرة مما يسمح لباقي عناصر الهيكل بالمحافظة على سلوكها المرن. ومنه تم تبني مبدأ العمود القوي والجائز الضعيف الذي من خلاله يكون نسبة مجموع العزوم المقاومة للأعمدة في أي وصلة إلى مجموع العزوم المقاومة للجيزان في هذه الوصلة أكبر من عامل أمان محدد. وبالتالي إذا تعرض أي بناء إلى انتقال غير مرن تتشكل المفاصل اللدنة في جيزان إطاراته و تبقى الأعمدة ضمن حد المرونة. هذا السلوك المفروض على الإطار له فوائد عديدة أهمها و أبسطها [31]:

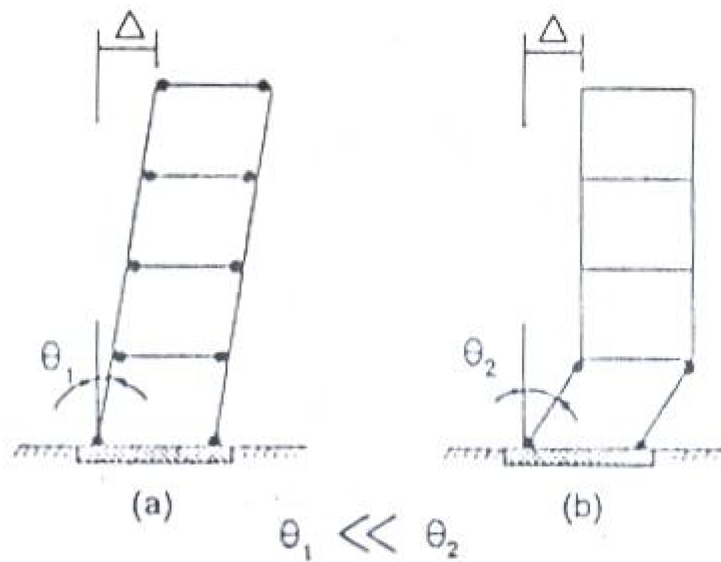
أولاً: إن انهيار عمود أو أكثر في إطار بيتوني مسلح يؤدي إلى انهيار جزء كبير من البناء أو حتى انهياره كلياً، وهذا ما يسبب خسائر بشرية واقتصادية كبيرة. أما انهيار جائز أو عدد من الجيزان فلا يؤدي إلى خسائر كبيرة إلا نادراً.

ثانياً: إن معظم المباني التي تصدعت بعض أعمدتها أو انهارت كان مصيرها الهدم الكامل أما المباني التي تصدعت بعض جيزانها أو انهارت فقد تم ترميمها بسهولة وسرعة كبيرتين.

بالإضافة إلى هذه الفوائد فإن تشكل المفاصل اللدنة في الجيزان وليس في الأعمدة يؤدي إلى ميكانيزم امتصاص الطاقة المولدة خلال الزلزال وفق دورانات صغيرة، كما يؤدي إلى توزيع هذه الطاقة على عدد أكبر من المفاصل اللدنة. يمكن توضيح هذا من خلال المثال المبين في الشكل (1-5)، حيث أنه من أجل انتقال مماثل في سطح البناء (Δ) فإن دوران المفاصل اللدنة ($\theta1$) هو أصغر بكثير من دوران المفاصل اللدنة ($\theta2$) كما أن عدد المفاصل اللدنة المتشكلة في الحالة (a) أكثر من المفاصل اللدنة المشكلة في الحالة (b)، وبالتالي تكون الطاقة التي يمتصها البناء خلال الزلزال موزعة على جزء أكبر من البناء كما أن المطاوعة المطلوبة من المفاصل اللدنة تكون

أصغر. وبذلك نسمح لكل مفصل لدن بالمحافظة على مقاومته وصلابته وبالتالي نحفظ البناء من الانهيار الكامل.

من أجل تأمين هذا السلوك وهو تشكل المفاصل اللدنة في الجيزان وليس في الأعمدة يجب إعادة تصميم الإطار وفق طريقة طاقة الجيزان حيث أنه بعد تصميم الجيزان والأعمدة لمقاومة الجهود المولدة فيها والناتجة عن الحمولات الأفقية المكافئة للزلازل التي يفرضها الكود العربي السوري، يتم حساب العزوم المقاومة للأعمدة وللجيزان وذلك باستعمال المواصفات الدقيقة لمواد البناء والأبعاد الحقيقية للمقاطع.



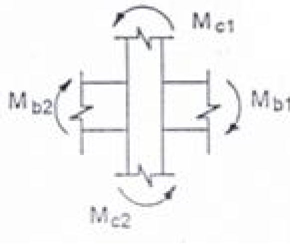
الشكل (1−5): احتمال سلوك الإطار خلال الزلزال.

ومن ثم يتم تدقيق نسبة مجموع العزوم المقاومة للأعمدة في الوصلة إلى مجموع العزوم المقاومة للجيزان كما يتضح في الشكل (1−6) وعلى هذه النسبة أن تكون نظرياً أكبر من واحد ($R > 1$) لكي نضمن خضوع تسليح الجيزان قبل خضوع تسليح الأعمدة. لكن هذه العلاقة بشكلها المبسط تهمل العديد من العوامل التي تؤثر على العزوم المقاومة وأهمها أثر القوى المحورية وأثر البلاطة و مساهمتها في العزم المقاوم السالب للجيزان. ولذلك ولضمان الحصول على السلوك المرغوب يجب [31]:

- إما اعتبار أثر العوامل المهملة عند إجراء الدراسة الإنشائية و أهمها أثر القوى المحورية و أثر البلاطة و نكتفي بتحقيق ($R>1.1$) حيث يضاف (10%) فقط كعامل أمان.

- أو إهمال هذه العوامل عند إجراء الدراسة الإنشائية وتحقيق (R>1.4) حيث يضاف (40%) لتغطية آثار العوامل المهملة إضافة إلى عامل الأمان.

وإذا لم يتحقق أحد الشرطين السابقين في الوصلة المدروسة، وهذا ما يحدث غالباً في الطوابق المرتفعة، فيجب إعادة تصميم الأعمدة وتصعيد مقاومتها حتى تتحقق النسبة المطلوبة في إحدى طرق الدراسة.



$$R = \frac{\sum M_c}{\sum \mathrm{M_b}} = \frac{M_{c1}+M_{c2}}{M_{b1}+M_{b2}}$$

الشكل (1-6): نسبة مقاومة الأعمدة للانعطاف إلى مقاومة الجيزان للانعطاف.

1-6- أشكال الانهيار الحاصل في الوصلة (Modes of Failure):

يبين الشكل(1-7) [29] رسومات تخطيطية لأشكال مختلفة من انهيار وصلات جائز- عمود داخلية. الهدف من التصميم الزلزالي هو التحقق من أن انهيار الوصلة سوف يتم كما هو مبين بالشكل (a7-1) والذي يتصف بتشكل مفصل لدن في الجائز المتصل مع العقدة. في الواقع إن منطقة المفصل اللدن يمكن أن تؤمن استمرارية لعمل وصلة جائز- عمود (وحماية للمنشأ ككل لاحقاً) ويقلل احتمال الانهيار أثناء الزلازل القوية.

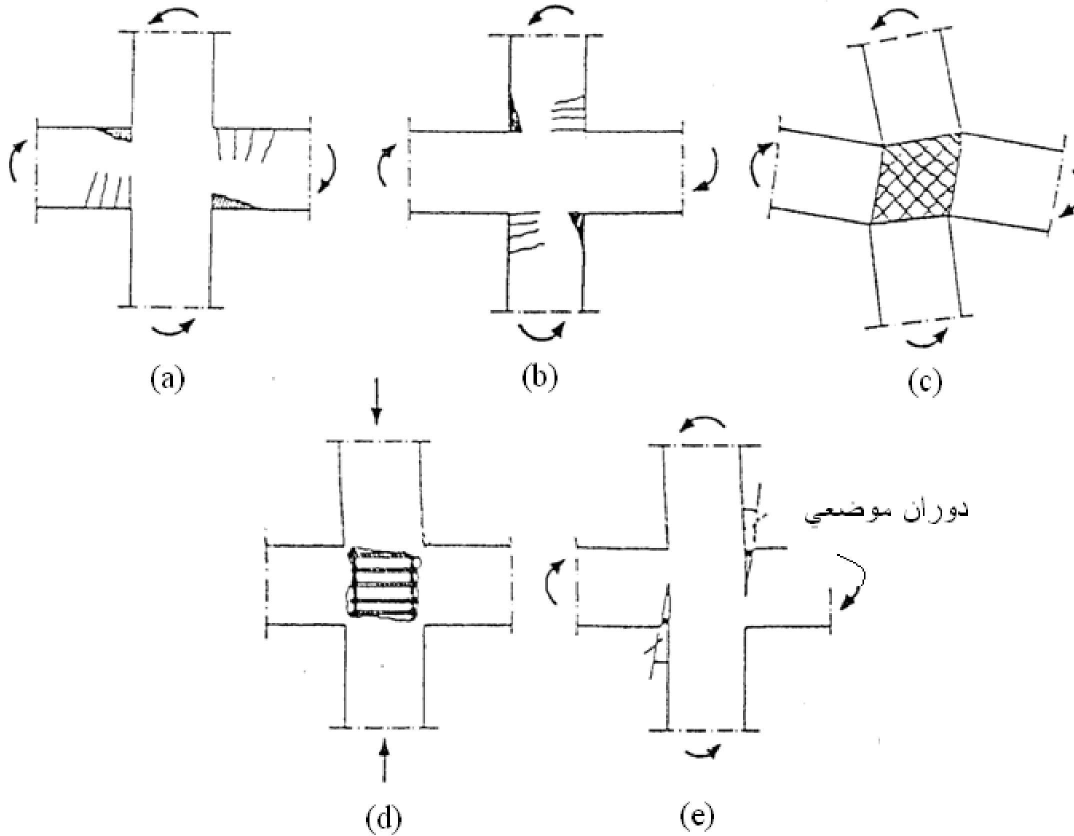
ومن جهة أخرى فإنه من غير المسموح تشكل مفصل لدن في الوصلة من جهة العمود الشكل(1-b7) وذلك لعدة أسباب أهمها:

1- بسبب الضغط المحوري على الأعمدة، فإن تحمل الأعمدة على الاستطالة والتشوه أقل من الجيزان، ومن جهة أخرى ومن أجل انتقال معين للجملة الإطارية فإن العمود يخضع لدوران لدن أكثر من الجائز في منطقة الوصلة، ولذلك من الضروري خلق آلية انهيار في الجيزان وليس في الأعمدة.

2- إن انهيار الجائز يكون بشكل تشققات في منطقة الشد بسبب وصول فولاذ التسليح إلى حد الخضوع، لكن انهيار العمود يكون مفاجئ و يسبب تحطم البيتون وانقطاع الأساور، وانثناء قضبان التسليح الطولي، وهذه الآلية من الانهيار تقود إلى خروج العمود من العمل وعدم

قدرته على تحمل القوى الشاقولية بعد الانهيار، ولذلك فإن منع الأعمدة من الانهيار له أهمية كبيرة في الحفاظ على سلامة المنشأ ككل أكثر من انهيار الجيزان.

3- إن تشكل المفاصل اللدنة في الأعمدة قد يسبب انزياح ملحوظ في الطوابق، و هذا يسبب زيادة في الإجهادات بسبب تأثير P-Δ (الانحراف الجانبي)، ويساهم في انهيار المنشأ.



الشكل (1-7): أشكال الانهيار في وصلات جائز- عمود (a) بلوغ الحد الأقصى من التشوه في الجيزان، (b) بلوغ الحد الأقصى من التشوه في العمود، (c) انهيار نواة الوصلة الناتج عن القص، (d) تشقق نواة الوصلة، (e) الانهيار الحاصل في قضبان الجائز[29].

الأنواع الثلاثة المتبقية من الانهيار و المبينة في الشكل (1-7) تظهر أنواعاً من الأضرار التي لا يمكن إصلاحها في الوصلة وهي:

1- انهيار العقدة بسبب إجهاد الشد القطري الذي يسببه القص الشكل (c7-1) ، وهذا يسبب نقص كبير في الصلابة والمقاومة للوصلة.

2- تحطم البيتون على واجهة نواة الوصلة الشكل (d7-1)، والذي بدوره يؤدي إلى نقص ملحوظ في قدرة التحمل للعمود (إن مقدار النقص يعتمد على مقدار التضرر في العمود الذي تعرض لتحطم البيتون).

3- انهيار التلاحم لقضبان التسليح الطولي التي تمر من الجائز إلى منطقة العقدة الشكل (1-e7)، والذي يؤدي إلى فقدان المقاومة وتشوهات دائمة كبيرة تسبب دورانات محلية في منطقة تقاطع الجائز مع العمود، لهذا السبب تنخفض الصلابة في منطقة الاتصال بشكل كبير.

ومن أجل ضمان أن الجملة سوف تسلك آلية الانهيار المفضلة الشكل (1-a7) والتي سبق ذكرها فإنه من الضروري التحقق من الأمور الآتية:

1- مقاومة الانعطاف النسبية لكل من الأعمدة والجيزان المتصلة بالعقدة.
2- المقاومة القصية لنواة الوصلة (العقدة) في كل من الاتجاهين الشاقولي والأفقي.
3- قضبان التسليح الطولية المطلوبة لكل من الأعمدة والجيزان، والتي تمر خلال العقدة أوالتي تنتهي في العقدة.

1-7- القوى المؤثرة على عقد جائز- عمود:

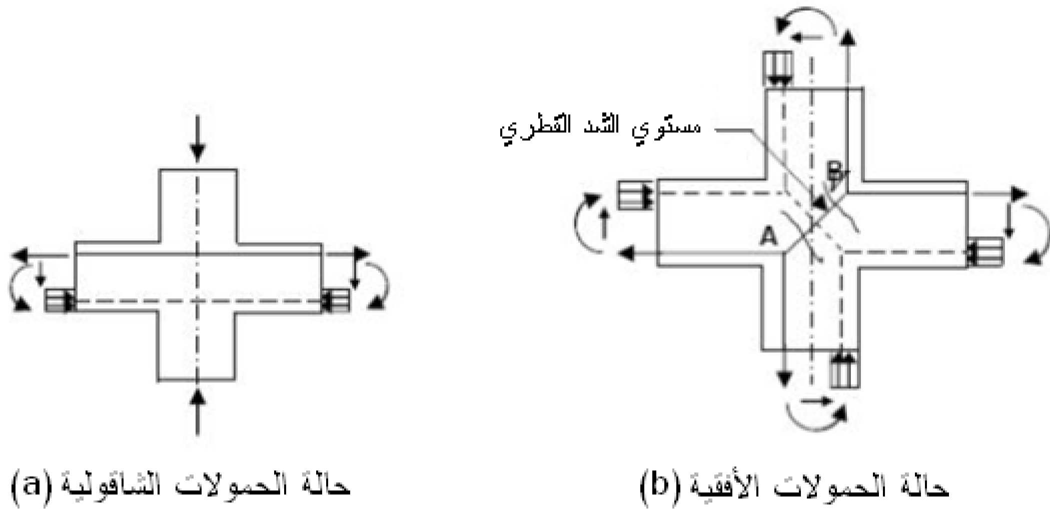
(Forces Acting on Beam- Column Joints)

تخضع عقد جائز- عمود إلى أنواع مختلفة من القوى، إن شكل العقدة نفسها، له تأثير أساسي على نمط القوى المؤثرة على العقدة، توضح الفقرة الآتية، تأثير الحمولات على الأنواع الثلاثة من العقد فيما يخص الإجهادات وأنماط التشققات المترافقة معها [29].

<u>العقدة الداخلية</u>: يظهر الشكل(1-a8) عقدة داخلية خاضعة إلى حمولات شاقولية، وطريقة نقل الحمولات، من الواضح أن الشد والضغط في نهايات الجيزان والحمولات المحورية من الأعمدة يمكن أن تنتقل مباشرة عبر العقدة. بينما الأمر يكون أكثر تعقيداً في التحميل الزلزالي الشكل (1-b8)، حيث تظهر إجهادات الشدّ والضغط القطريين ضمن العقدة بسبب القوى المنقولة من الجيزان والأعمدة. ويخضع تسليح الجيزان والأعمدة المار خلال العقدة في الإطاراتِ المحمّلة بحمولات زلزالية إلى الشد من جهة والضغط من الجهة الأخرى، أي كلّ من قضبان الجائز والعمود الطولية خاضعة إلى سحب من جهة ودفع من الجهة الأخرى للعقدة.

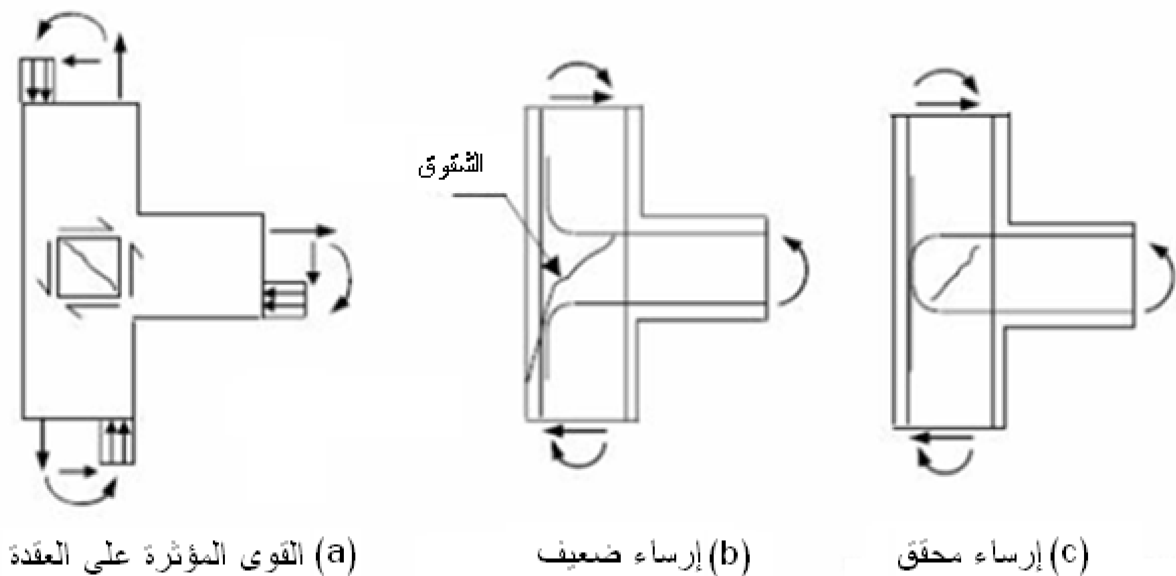
هذا التركيب من القوى يساهم في سوء إرساء القضبان المارة خلال العقدة، الذي بدوره يُؤدّي إلى انزلاق القضبان أو حتى إلى انسحابها بشكل كامل، كما يساهم في ظهور ما يسمى بقوى قص العقدة.

يمكن في نفس الشكل مشاهدة الشقوق الناشئة بشكل عمودي على مستوي الشد القطري (A-B) في العقدة، ويظهر عند وجوه العقدة في نقاط تقاطع الجيزان مع العقدة خطوط منقّطة تشير إلى مسارات الضغط، وخطوط مستمرة تُشير إلى مسارات الشد. إن مقاومة البيتون على الشد ضعيفة ولمقاومة قوى الشدّ القطريّة، يتم استخدام تسليح عرضي يمر عبر مستوي الشد القطري [29].



الشكل (1–8): القوى المؤثرة على عقدة داخلية.

العقدة الطرفية: يُظهر الشكل(1–a9) القوى المؤثرة على عقدة طرفية في حالة التحميل الزلزالي، تساعد قوى القصّ العاملة على العقدة على نشوء وتوسّع التشققات القطرية التي تؤدي إلى الحاجة إلى تسليح عقدة ملائم لتفادي هذه الشقوق. يظهر الشكل (1–b9) و(1–c9) نمطين مختلفين من التسليح الطولي للعقد الطرفية يؤثران على كفاءة سلوكها، في النمطِ الأول (b) تكون الكفاءة الناتجة عندما تحنى القضبان إلى خارج نواة العقدة 25–40 %، بينما في النمط الثاني (c) كانت الكفاءة 85–100 % عندما أحنيت القضبان إلى داخل نواة العقدة، في كلا النمطين يجب استخدام أساور كافية لتطويق نواة العقدة [29].



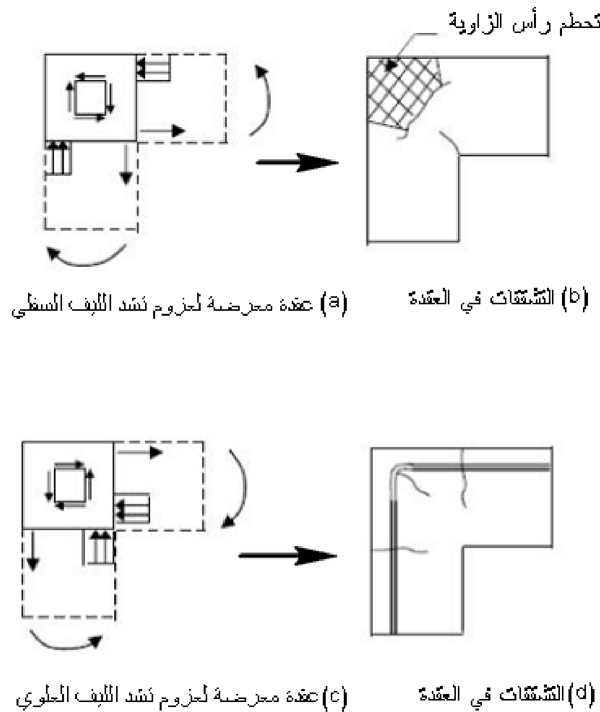
الشكل (1–9): القوى المؤثرة على عقدة طرفية.

العقدة الركنية: يُظهر الشكل (1−10 c,a) القوى المؤثرة على عقدة ركنية في الطابق الأخير، أما في الطوابق المتكررة تكون القوى المؤثرة على هذا النوع من العقد تشبه القوى المؤثرة على العقد الطرفية، كما يظهر الشكل نفسه الإجهادات والتشققات الناشئة في هذه العقد.

التضرر الحاصل في مثل هذه العقد يتألف من التشققات من النوع الانعطافي، ووفقاً للاختبارات التجريبية، فقد تمت التوصية للسيطرة على هذا النوع من التشققات باستخدام تسليح طولي مستمر على الوجه الخارجي للعقدة الشكل (1−d10).

الحالة الأولى للعقد الركنية هي الحالة الحرجة، حيث تكون العزوم تشد ألياف الوجه الداخلي للعقدة، وتظهر التشققات عند الزاوية الداخلية ويلاحظ الانهيار بتشكّل شق الشدّ القطري الشكل (1−b10).

الحالة الثانية للعقد الركنية هي حالة العزوم التي تشد ألياف الوجه الخارجي للعقدة، القوى الناشئة في مثل هذه العقد معاكسة لتلك الناشئة في الحالة الأولى، حيث تظهر التشققات في هذه الحالة على السطح الخارجي للعقدة الشكل (1−d10)، كما تُظهر عقد الحالة الثانية كفاءة أعلى من الحالة الأولى من ناحية التصميم الزلزالي، لذلك تصمم هذه العقد على أنها خاضعة إلى عزوم تشد الألياف الداخلية وهي الحالة الأخطر في التصميم حيث أن إمكانية انعكاس القوى ممكن في الحمولات الزلزالية [29].



الشكل (1−10): القوى المؤثرة على عقدة ركنية.

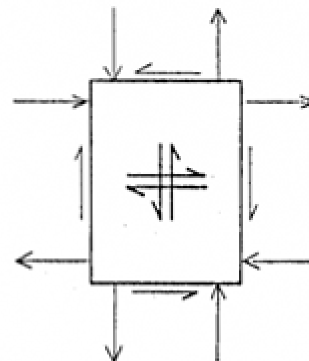
وهكذا نلاحظ أن مجموعة القوى الداخلية المطبقة على العقدة بالإضافة إلى جهود القص في الجيزان والأعمدة تولّد فيها إجهادات قصية أفقية وشاقولية كما في الشكل (1−11) تؤدي إلى تشققها، بالإضافة إلى هذا فإن هذه الإجهادات القصية تنعكس وبشكل ديناميكي وترددي وفق اهتزاز البناء، لذلك فمن أجل مقاومة هذه الإجهادات يجب تطبيق ثلاثة أسس تصميمية لكل منها أهميته الخاصة في المحافظة على سلامة العقدة وهذه الأسس هي [31]:

1− تطويق العقدة بتسليح أفقي بشكل أساور مغلقة تمتد في العمود أعلى و أسفل العقدة وذلك للمحافظة على بيتون العقدة من التفتت السريع عند تعرّضه إلى الإجهادات الديناميكية الترددية.

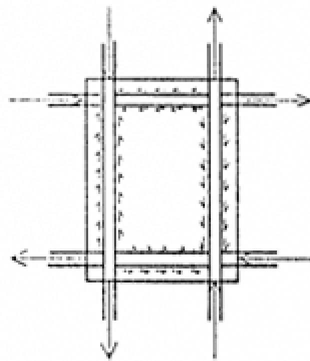
2− تأمين أبعاد محددة للعقدة لتخفيض إجهادات القص الناتجة فيها.

3− تأمين أطوال التلاحم لقضبان تسليح الجيزان والأعمدة لتفادي انسحابها وخاصّة أن كل من هذه القضبان مشدودة من أحد أطرافها ومضغوطة من طرفها الآخر كما في الشكل (1−11) مما يجعل شروط طول إرسائها أكثر صعوبة.

نذكر هنا بأن هذه الأسس الثلاثة لا يمكن تجزئتها فهي متكاملة وتتعلق ببعضها البعض. فإن تسليح العقدة بالأساور الأفقية هو لتطويق العقدة ومنع البيتون فيها من التفتت السريع، وإن تماسك البيتون الجيد يشكل حزمة الضغط التي بدورها تقاوم إجهادات القص المتولّدة في العقدة. كما أن تماسك البيتون الجيد يؤمن التحاماً ميكانيكياً جيداً لقضبان التسليح التي تمر من خلال العقدة .



(a) إجهادات قص في عقدة داخلية



(b) تلاحم قضبان التسليح المارة في العقدة

الشكل (1−11): (a) إجهادات قص في عقدة داخلية،

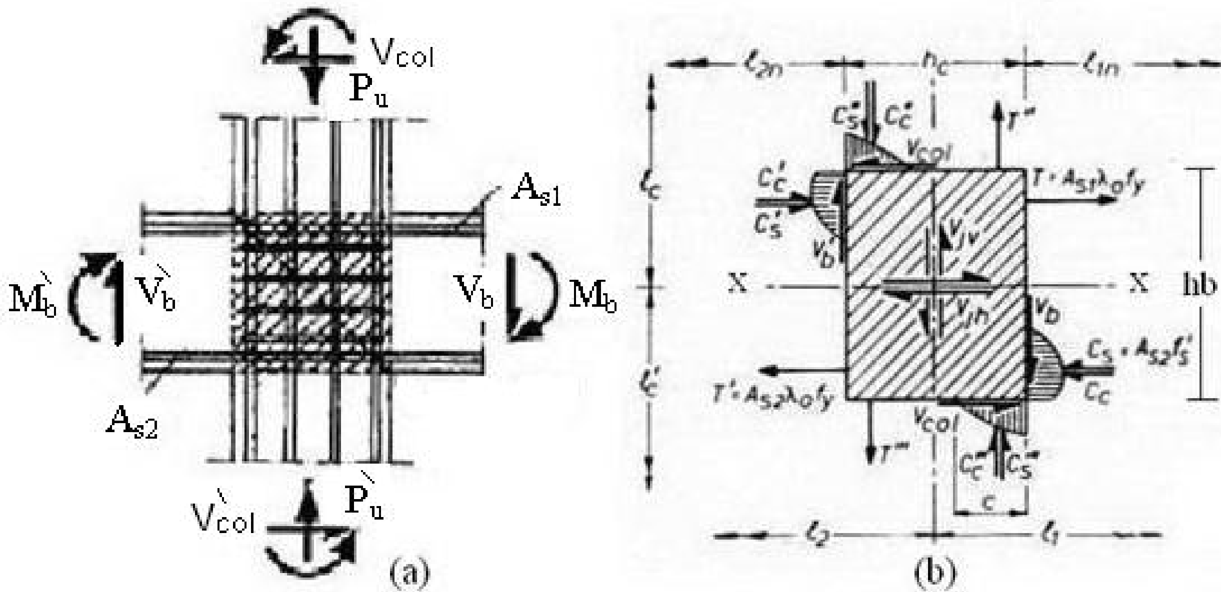
(b) تلاحم قضبان التسليح المارة في العقدة.

1-8- قوى القص في العقدة (Shear Forces in the Joint):

العقدة الداخلية: يظهر في الشكل (1-12) القوى التي تعمل على نواة وصلة داخلية، والتي تجعل جزء من الإطار البيتوني المسلّح يخضع بشكل كامل لقوى زلزالية، ويتم تصميم وصلة الإطار على مبدأ أنّ مفاصل لدنة سوف تتشكل في الوصلة من جهة الجائز وليس من جهة العمود. ومن الضروري الأخذ بالاعتبار عند نقل القوى إلى العقدة الزيادة في العزوم الجائزية ($M_b^{'}\ and\ M_b$) وذلك بسبب:

- إمكانية أن يكون إجهاد الخضوع في حديد تسليح الجائز أكبر من إجهاد الخضوع التصميمي.
- الإجهاد المتزايد في التسليح الطولي للجائز بسبب الإجهاد الناتج عن التصلّب.

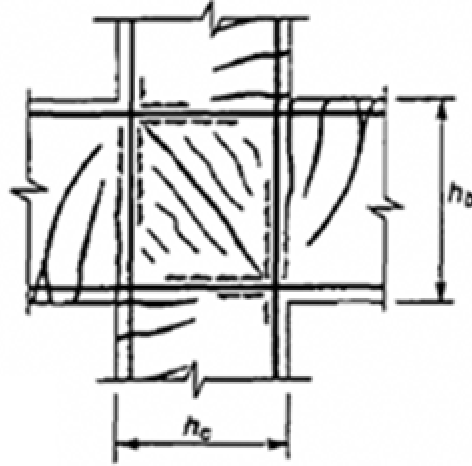
وبناءً على ذلك من أجل تقدير قيم ($M_b^{'}\ and\ M_b$)، فإن مساحات التسليح الفعلية A_{s2} , A_{s1} والتي تختلف عن القيم المحسوبة بالاعتماد على (المعهد الأمريكي للبيتون ACI-ASCE [1]، الكود النموذجي للتصميم الزلزالي والصادر عن الهيئة الأوربية الدولية CEB [9] وجمعية المقاييس النيوزيلندية SANZ [25])، كما يجب الأخذ بعين الاعتبار تسليح البلاطة الموجود في منطقة التسليح العلوي (A_{s1}).



الشكل (1-12): القوى العاملة على العقدة الداخلية من الجيزان والأعمدة.

$C_{s2} \longrightarrow U \longrightarrow T_1$

موازنة قوى التلاحم الكلية في قضبان الجائز العلوية



الشكل(1−13): نمط التشققات وقوى التلاحم بعد نشوء تشققات الشد القطرية على نواة العقدة.

نحصل على المعادلة التي تعطي قوى القص الأفقية العاملة على العقدة من خلال تـوازن القـوى الأفقية في العقدة بالنسبة للمستوي x−x الشكل (b12−1) [21]:

$$V_{jh} = T + C_c^{'} + C_s^{'} - V_{col} = T^{'} + C_c + C_s - V_{col} \qquad (1-1)$$

V_{jh} : قوة القص الأفقية التي تعمل على العقدة.

$C_c^{'}$: قوة الضغط في البيتون.

$C_s^{'}$: قوة الضغط في فولاذ التسليح العلوي للجائز.

V_{col} : قوة القص في العمود.

T : قوة الشد في فولاذ التسليح العلوي للجائز.

ويمكن الافتراض تقريبياً أن $T' = C_s' + C_c'$، عندها تكون قوة القص الأفقية:

$$V_{jh} = T + T^{'} - V_{col} \qquad (2-1)$$

V_{jh} : قوة القص الأفقية التي تعمل على العقدة.

T : قوة الشد في فولاذ التسليح العلوي للجائز.

T' : قوة الشد في فولاذ التسليح السفلي للجائز.

V_{col} : قوة القص في العمود.

وعلى افتراض أنّ كلاً من التسليح السفلي والعلوي للجائز يصل إلى إجهـاد الخضـوع وبالتـالي يمكن التعبير عن القص الأفقي في العقدة بالعلاقة :

$$V_{jh} = \lambda_0 \, f_y \,(A_{s1} + A_{s2}) - V_{col} \qquad (3-1)$$

V_{jh}: قوة القص الأفقية التي تعمل على العقدة.

A_{s1} : مساحة التسليح العلوي للجائز من جهة العقدة.

A_{s2} : مساحة التسليح السفلي للجائز من جهة العقدة.

V_{col}: قوة القص في العمود.

f_y: المقاومة المميزة لفولاذ التسليح (إجهاد الخضوع).

λ_0 : عامل تصعيد الإجهاد يأخذ بالاعتبار الزيادة في الإجهاد والتشوهات الناتجة عن التصلب ويؤخـذ عادةً 1.25.

لقد اقترح (Paulay and Priestly) [21] علاقة لتقدير القوة القاصة في العمود و ذلك بالاعتماد على العزوم في الجيزان عند أوجه العمود:

$$V_{col} = \frac{(l_1 / l_{1n}) M_b + (l_2 / l_{2n}) M_b'}{(l_c + l_c')/2} \qquad (4-1)$$

حيث:

V_{col}: قوة القص في العمود.

$M_b \; and \; M_b'$: العزوم الجائزية المطبّقة على العقدة.

l_1, l_2 : هي المجازات الجائزية المقاسة نظرياً بين نقاط الاستناد (محاور الأعمدة).

l_{1n}, l_{2n} : هي المجازات الصافية الموافقة.

l_c, l_c' : هي ارتفاعات الأعمدة المقاسة من محاور الجيزان.

إن المعادلة (1−4) معتمدة في الكود (SANZ) والكود (CEB).

بينما تعطي لجنة (ACI 352−02) [1] العلاقة الآتية لحساب قوة القص في العمود:

$$V_{col} = \frac{\propto (M_b + M_b')}{H} \qquad (5-1)$$

حيث:

$\propto = 1.25$: عامل يأخذ بالاعتبار احتمال تصلب تسليح الجائز أو احتمال كون إجهاد الخضوع الفعلي لتسليح الجائز أكبر من إجهاد خضوعه النظري المستعمل خلال التصميم.

H: البعد بين نقطة منتصف العمود تحت العقدة ونقطة منتصف العمود فوق العقدة.

$$\begin{cases} M_b = A_{s1} f_y (d - a/2) \\ M_b' = A_{s2} f_y (d - a/2) \end{cases} \qquad (6-1)$$

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 b f_c'} \qquad (7-1)$$

حيث:

d: الارتفاع الفعّال للجائز.

b: عرض مقطع الجائز.

f_c' : مقاومة بيتون الوصلة على الضغط (MPa).

f_y : إجهاد الخضوع لفولاذ تسليح الجائز (MPa).

لا يعطي الكود الأوربي (EC8) [10] علاقة لحساب قوة القص في العمود بالاعتماد على علاقات التصميم وفق قدرة التحمل، بل يفرض أخذها مباشرةً من التحليل تحت تأثير تراكب الحمولات الزلزالية.

يمكن أن يحسب القص الشاقولي V_{jv} في العقدة بشكل مشابه بالاعتماد على التوازن و ذلك بالاتجاه الشاقولي، أو بكل بساطة من ملاحظة أن إجهاد القص الأفقي في العقدة يجب أن يساوي إجهاد القص الشاقولي المرافق، أي أن $\tau_{jh} = \tau_{jv}$ و نفترض للتبسيط أن كلاً من الإجهادين السابقين يتوزع بشكل منتظم على وجه المقطع، وبالتالي يمكن كتابة المعادلة الآتية من أجل الإجهادين السابقين:

$$\frac{V_{jh}}{b_j * h_c} = \frac{V_{jv}}{b_j * h_b} \qquad (8-1)$$

V_{jh} : قوة القص الأفقية التي تعمل على العقدة.

V_{jv} : قوة القص الشاقولية التي تعمل على العقدة.

b_j : العرض الفعّال للعقدة.

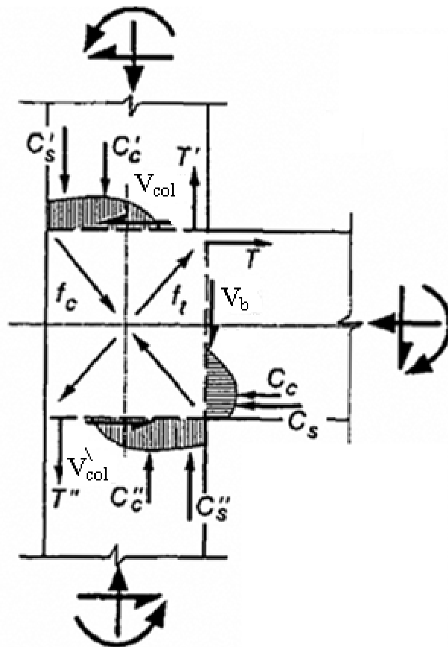
h_c : عرض العمود المتصل بالعقدة.

h_b : ارتفاع الجائز المتصل بالعقدة.

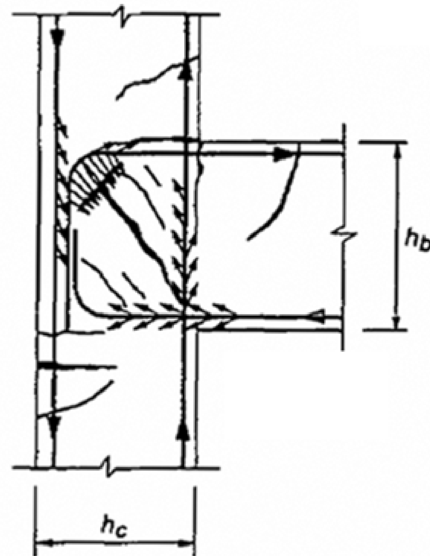
إذاً يعطى القص الشاقولي بالعلاقة :

$$V_{jv} = V_{jh} \frac{h_b}{h_c} \qquad (9-1)$$

العقدة الطرفية: بشكل مشابه لما سبق يمكن تقدير قوة القص الشاقولية والأفقية في الوصلات الطرفية الشكل (1-14)، إن قوة القص الناتجة هي أقل من القص الذي ينتج في الوصلات الداخلية نتيجة وجود جائز واحد متصل مع العقدة فقط.



القوى العاملة على نواة العقدة من الجائز و الأعمدة



نمط التشققات وقوى التلاحم والانحناء بعد تشكل تشققات الشد القطرية على نواة العقدة

الشكل(1-14): القوى العاملة على نواة العقدة ونمط التشققات.

في هذه الحالة تكون قوة القص الأفقية العاملة على العقدة :

$$V_{jh} = \lambda_0 \, f_y A_{s1} - V_{col} \qquad (10-1)$$

V_{jh}: قوة القص الأفقية العاملة على العقدة.

A_{s1} : التسليح العلوي للجائز من جهة العقدة.

V_{col}: قوة القص في العمود.

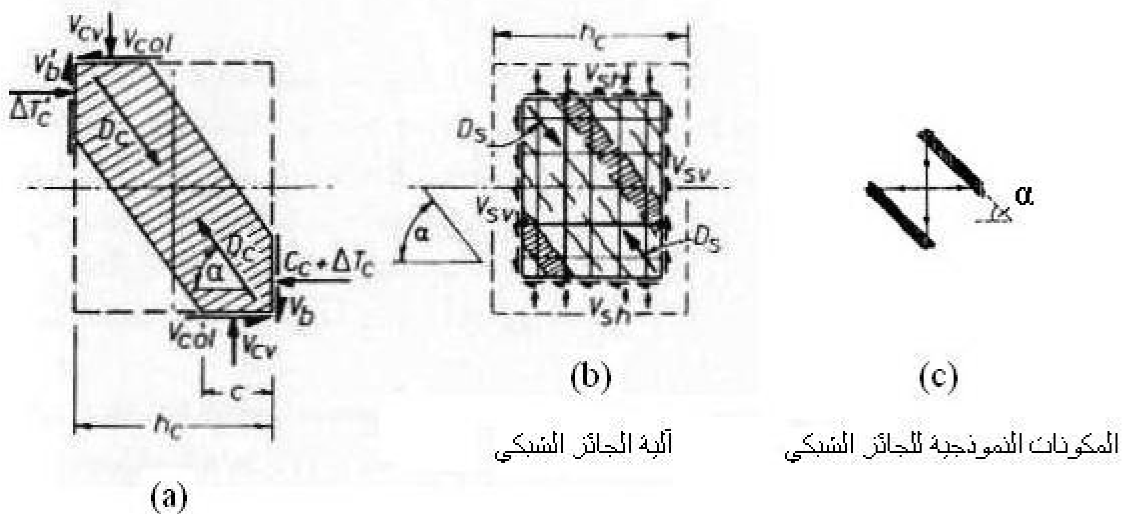
λ_0 : عامل تصعيد الإجهاد.

f_y : إجهاد الخضوع لفولاذ تسليح الجائز.

تظهر الحالة الحدية في الوصلة الخارجية عندما يكون التسليح العلوي في الجائز مشدود.

1-9- آليات نقل القص (Mechanisms of Shear Transfer):

1-9-1- تعريف بآليات نقل القص: إن آلية انتقال الإجهادات القاصّة في الوصلات البيتونية المسلّحة معقّد، حيث يلعب كل من القص والتلاحم والتطويق دوره في ذلك ضمن مناطق صغيرة، وعليه فقد ظهرت آراء متضاربة حول ضرورة تصميم الوصلة لمقاومة القص الأفقي، أو القص الشاقولي أوكليهما، وأيضاً دور تسليح الأساور في آليات النقل [21].



الشكل(1-15): آليات نقل القص في العقدة.

وتتناول الفقرة الآتية الحلول المطروحة في كل من الكود النيوزلندي والكــود الأمريكــي والكــود الأوربي (من أجل الإطارات البيتونية المقاومة للعزوم).

حسب (Paulay and Priestly) [21], تتحمل الجذوع البيتونية القطرية المضغوطة التي تصــل بين زوايا العقدة جزءاً من القص الكلي ضمن العقدة الشكل (a15−1)، ويتحمل الجــزء الآخــر مــن القص الجائز الشبكي المنمذج والذي يتكون من الأساور الأفقية وقضبان العمود الوســطية والجــذوع البيتونية الصغيرة بين شقوق القص الشكل(b,c15−1).

يظهر الشكل(15−1) حالة عمود غير معرّض لقوى محورية وهذه الحالة هي الأكثر خطورة من حالة تعرّض العمود لقوة محورية ضاغطة، ومن جهة أخرى إن وجود قوة شد محورية سوف يســبب تسارع في انهيار الوصلة تحت تأثير الحمولات الدورية.

وكما هو مبين في الشكل (15−1) فإن القــوى الضــاغطة للبيتــون (C_c وC'_c) مــن الجيــزان و(C''_cوC'''_c) من الأعمدة، مع قوى القص للعمود والجائز ($V_{\mathrm{col}}, V_{\mathrm{b}}$) وقوى الــتلاحم ($\Delta T_c$) والتــي تنتقل بواسطة قضبان التسليح الطولية، تشكل جملة من القوى في حالة التوازن.

المكون الأساسي للآلية الأولى هي الجذوع البيتونية القطرية التي تتحمل قوة ضغط (D_c)، حيــث يتم مقاومة قسم كبير من إجهاد القص الكلّي (الشاقولي والأفقي) بواسطة هذه الآلية، ويلاحــظ زيــادة فعالية هذه الآلية بوجود قوى محورية ضاغطة على الأعمدة والتي تسبب زيادة عمق منطقة الضــغط وبالتالي زيادة عرض منطقة الجذع البيتوني. لقد دلّت التجارب التي أجريت على وصلة جائز –عمــود على محدودية عمل آليات نقل القصّ الأخرى كتداخل الحصويات أوالتشوه الصلب لقضــبان التســليح الطولية (التسليح في مرحلة اللدونة) وذلك لعدم إمكانية وصول التشوهات في نواة العقدة إلى الحد الذي تبدأ معه هذه الآليات بالعمل.

لقد اقترح (Paulay and Priestly) [21] حساب مساهمة البيتون في نقل القص الأفقــي عبــر العقدة من العلاقة الآتية:

$$V_{ch} = D_c \cos\alpha \qquad (a-11-1)$$

و كذلك نقل القص الشاقولي بالعلاقة :

$$V_{cv} = D_c \sin\alpha \qquad (b-11-1)$$

D_c: القوة القطرية الضاغطة الناتجة في العقدة.

$\propto$: ميل قطر الوصلة ($\propto = tg^{-1}\frac{h_b}{h_c}$).

ويظهر من الشكل (1−15) أن جزء من قوة التلاحم والذي هو (ΔT_c) ينتقل في منطقة الضغط للعقدة، بينما بقية القوة ($V_{sh} = T + C'_s - \Delta T_c$) تنقل إلى نواة العقدة على شكل تدفق قوى قاصة الشكل(1−15b).

تولّد قوى التلاحم المذكورة إجهادات قص داخل العقدة، وقد تؤدي إلى تشققات شد قطرية كما في الشكل (1−15b) حيث تظهر التشققات الرئيسية على طول قطر العقدة، والذي يعبّر عن مستوي الانهيار، ويمكن أن تتشكل أيضاً تشققات موازية لها.

وبالتالي تعمل العقدة بآلية تشبه الجائز الشبكي والذي يتكون من عناصر ضغط تتشكل من البيتون الموجود على جانبي تشققات القص المتجاورة ومن القضبان الشاقولية ذات الإرساء الجيد والأساور الأفقية، ومن أجل فعالية هذه الآلية في نقل القص تكون الأساور الأفقية غير كافية، حيث أن القضبان الشاقولية المتوسطة للأعمدة ضرورية أيضاً الشكل(1−15c)، حيث تكون هذه القضبان عادة بحالة ضغط وبالتالي تكون قادرة على نقل القوة الشادة الناتجة بسبب آلية الجائز الشبكي.

من توازن القوى في الشكل(1−15b) فإن آلية الجائز الشبكي يمكن أن تتحمل قوة قص أفقية مساوية لـ:

$$V_{sh} = D_s \cos(\alpha) \qquad (a-12-1)$$

و قوة قص شاقولية مساوية لـ:

$$V_{sv} = D_s \sin(\alpha) \qquad (b-12-1)$$

α : هي زاوية ميل التشققات عن المحور الأفقي للعقدة.

D_s: القوة المحورية المسببة للتشقق و نحسب من خلالها مساهمة التسليح بنقل القص.

واستناداً إلى ما سبق فإن القص الكلّي الذي يمكن للعقدة أن تقاومه هو مجموع الآليتين السابقتين:

$$V_{jh} = V_{ch} + V_{sh} \qquad (a-13-1)$$

$$V_{jv} = V_{cv} + V_{sv} \qquad (b-13-1)$$

سوف نقوم بعرض هاتين الآليتين المستخدمتين في نقل القص في العقدة وطريقة حساب مساهمة كل منهما ولكن بدايةً سوف يتم عرض لتأثير الإرساء الجيد لقضبان التسليح على مقاومة العقدة.

1-9-2- تأثير الإرساء الجيد لقضبان التسليح على مقاومة العقدة:

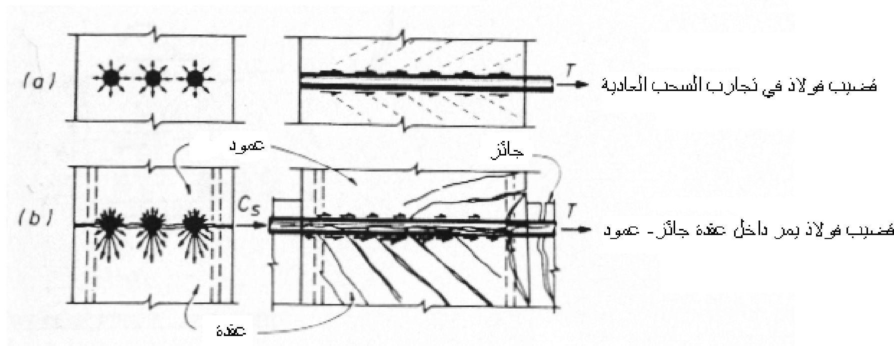
- **العوامل المؤثرة على مقاومة التلاحم [21]:**

إن معرفتنا بآليات التلاحم في البيئة الزلزالية ليست كبيرة بقدر المظاهر الأخرى الكثيرة لسلوك البيتون المسلّح، وقد حدثت تطورات هامة في تعريف العوامل المختلفة التي تؤثر على مقاومة التلاحم وعلاقة (التلاحم- انزلاق) للقضبان الخاضعة لقوى دورية منعكسة عالية الشدة [23]. إن اكتشافات الأبحاث هذه لا يمكن أن تدرج مباشرةً إلى توصيات تصميم بسيطة نسبياً، بسبب وجود صعوبة في صياغة كل من النماذج الرياضية والمحاكاة التجريبية التي يجب أن تشبه إلى حدّ ما الظروف السائدة في عقدة جائز-عمود بيتونية مسلّحة.

من المعروف أن انهيار التلاحم يحدث عندما تتجاوز قيمة التشوه في القضيب تشوه المطاوعة للفولاذ، لهذا فإن التلاحم في العقد المرنة يكون مصان.

يمكن تقدير مساهمة انهيار التلاحم نتيجة التشوهات اللدنة في قضيب الفولاذ الموجود في العقدة بحدود 50% من التشوهات الإجمالية الحاصلة في وصلة جائز-عمود.

تتغير قوى التلاحم على امتداد طول قضيب الجائز المار خلال العقدة، إن قوى التلاحم تنخفض بسرعة في البيتون خارج العقدة، أما ضمن العمود (العقدة) يمكن أن تنشأ إجهادات تلاحم عالية بسبب وجود تطويق البيتون المحيط بقضيب الجائز، مع العلم أنه توجد منطقة انتقالية بين هاتين المنطقتين الشكل(1-16) والشكل(1-17).



الشكل(1-16): إجهادات التلاحم حول قضبان الفولاذ [21].

وبالتالي تتغير علاقة (تلاحم – انزلاق) على طول قضيب الفولاذ ضمن العقدة، و لهذا السبب فإنه من الصعب نمذجة الاستجابة العامة (تلاحم –انزلاق) للقضبان المارة في العقد الداخلية بشكل بسيط ومناسب للتصميم.

إن قوى التلاحم الموضحة في الشكل(1−a16) مشابهة لتجارب السحب التقليدية، حيث تتوزع إجهادات التلاحم في هذه التجارب بانتظام حول محيط القضيب، مسببة إجهادات نصف قطرية ومماسية منتظمة في البيتون المحيط، بينما يواجه القضيب المتوضّع في أعلى الجائز الشكل(1−b16) ظروف مختلفة داخل العقدة بسبب قوة التلاحم الكبيرة جداً $\Delta T = T + C_s$، التي يجب نقلها، وأيضاً بسبب الشد العرضي الذي يتعرض له قضيب الفولاذ من قبل عزم انعطاف العمود، وعادةً يتشكل شق الانفلاق على طول قضيب الفولاذ.

يبدو واضحاً من الشكل (1−a15) أنه يجب نقل قوى التلاحم الكلية من قضيب الجائز العلوي بشكل مائل ضمن حقل الانضغاط القطري للعقدة، وبالتالي لن يكون توزع إجهاد التلاحم حول قضيب الفولاذ منتظماً، كما هي الحال في تجارب السحب العادية، حيث تتولد إجهادات التلاحم الأكبر في الجهة من القضيب القريبة من نواة العقدة الشكل(1−b16)، وهي قوى تلاحم أكبر بـ 15% من القوى التي ستنتقل باتجاه العمود.

العوامل التي تؤثر على قوى التلاحم لقضبان الفولاذ في العقدة هي:

1− التطويق أمر يحسّن قوة التلاحم تحت تأثير الحمولات الزلزالية، يمكن أن يتحقق التطويق عن طريق ضغط محوري على العمود مع تسليح يلعب دور التثبيت عبر تشققات الانفلاق، وبذلك تلعب قضبان العمود المتوسطة الشكل(1−a12) دور أساسي في منع الانهيار المبكّر للتلاحم في العقدة في حال خضعت الأعمدة إلى قوى انضغاط محورية صغيرة أم لا، عدا عن كونها تسليح قص شاقولي للعقدة.

2− قطر القضيب d_b، ليس له تأثير هام على مقاومة التلاحم للقضبان بأقطار عادية ($\geq 12mm$)، بينما تزداد بمقدار 10% مع قضبان بقطر أصغر. لكي نحد من قوى التلاحم الأعظمية $\Delta T = T + C_s$ الشكل(1−b16)، يجب أن تكون نسبة طول الإرساء الفعّال l_e إلى قطر القضيب d_b ثابتة :

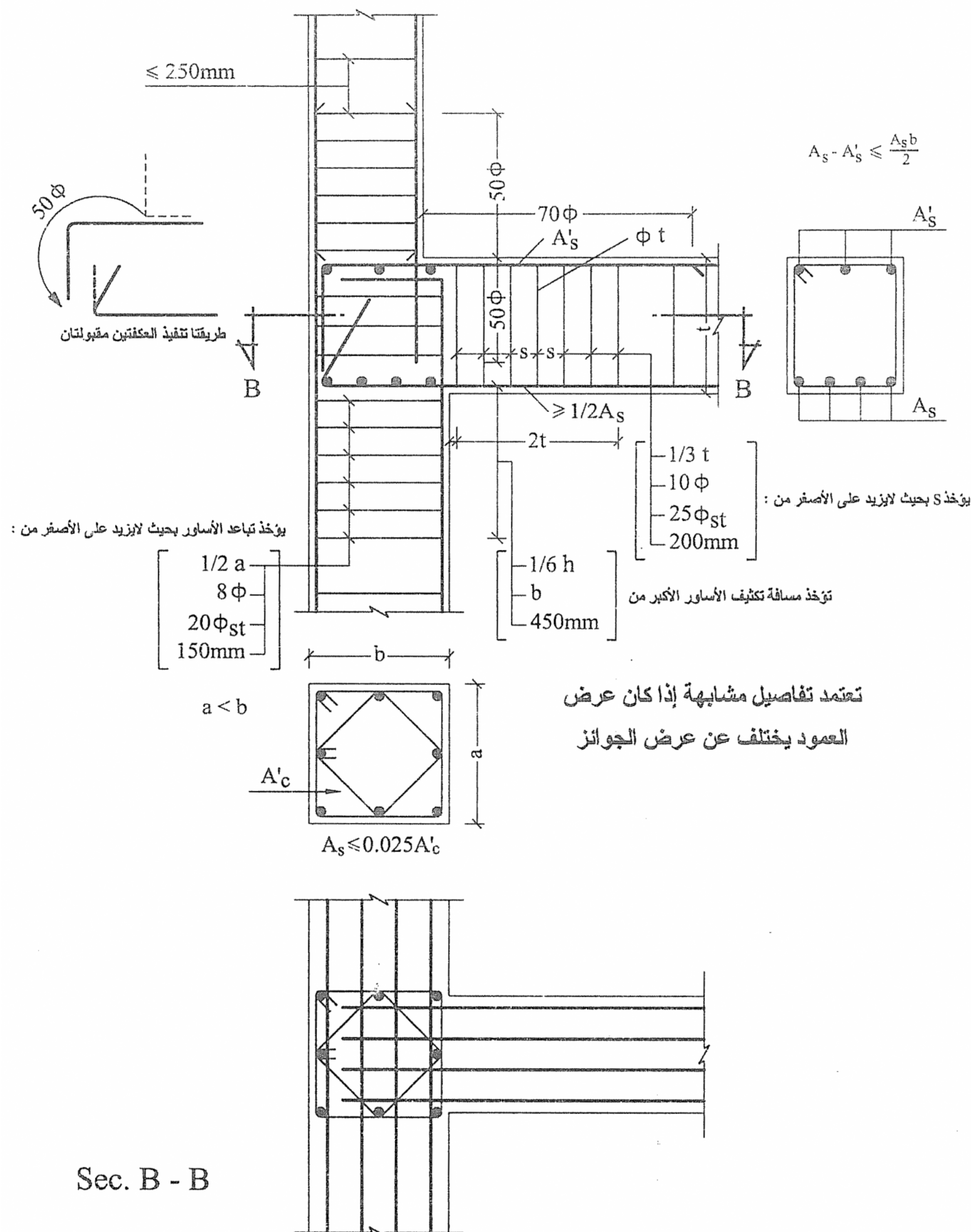
$$l_e / d_b = cte$$

في عقد جائز–عمود داخلية لايملك المصمم المقدرة على تعيين طول إرساء فعّال مناسب، إذ إن طــول الإرساء المتاح ثابت، ويكون تقريباً مساوياً لبعد نواة العقدة المطوقة h_c يؤخذ موازياً للقضــيب المــراد إرساؤه الشكل(1–17)، ويبقى له إمكانية اختيار قطر القضيب التي ترضي النسبة l_e / d_b.

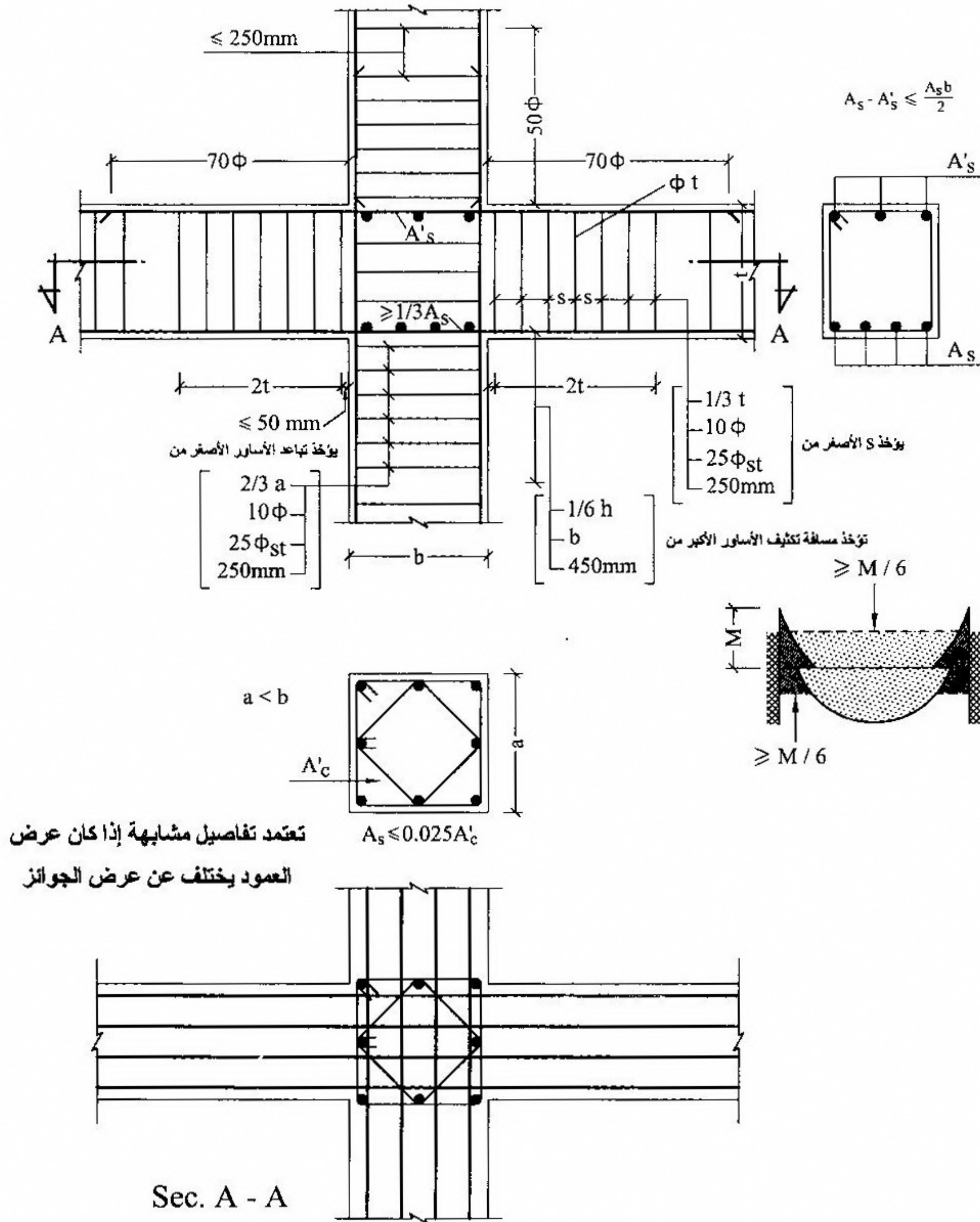
[redacted]

الشكل(1–17): توزّع قوى التلاحم على قضيب الفولاذ العلوي في عقدة داخلية [21].

3– تحت تأثير الحمولات الدورية، بينت الدراسات وكذلك الكودات العالمية [1, 9,25,10]، أن مقاومة التلاحم تعتمد على مقاومة الشد للبيتون، والتي هي تابع لــ $\sqrt{f_c^{'}}$، و قد رصـــدت إجهـــادات تلاحـــم أعظمية ذات قيمة $2.5\sqrt{f_c^{'}}\ (MPa)$.

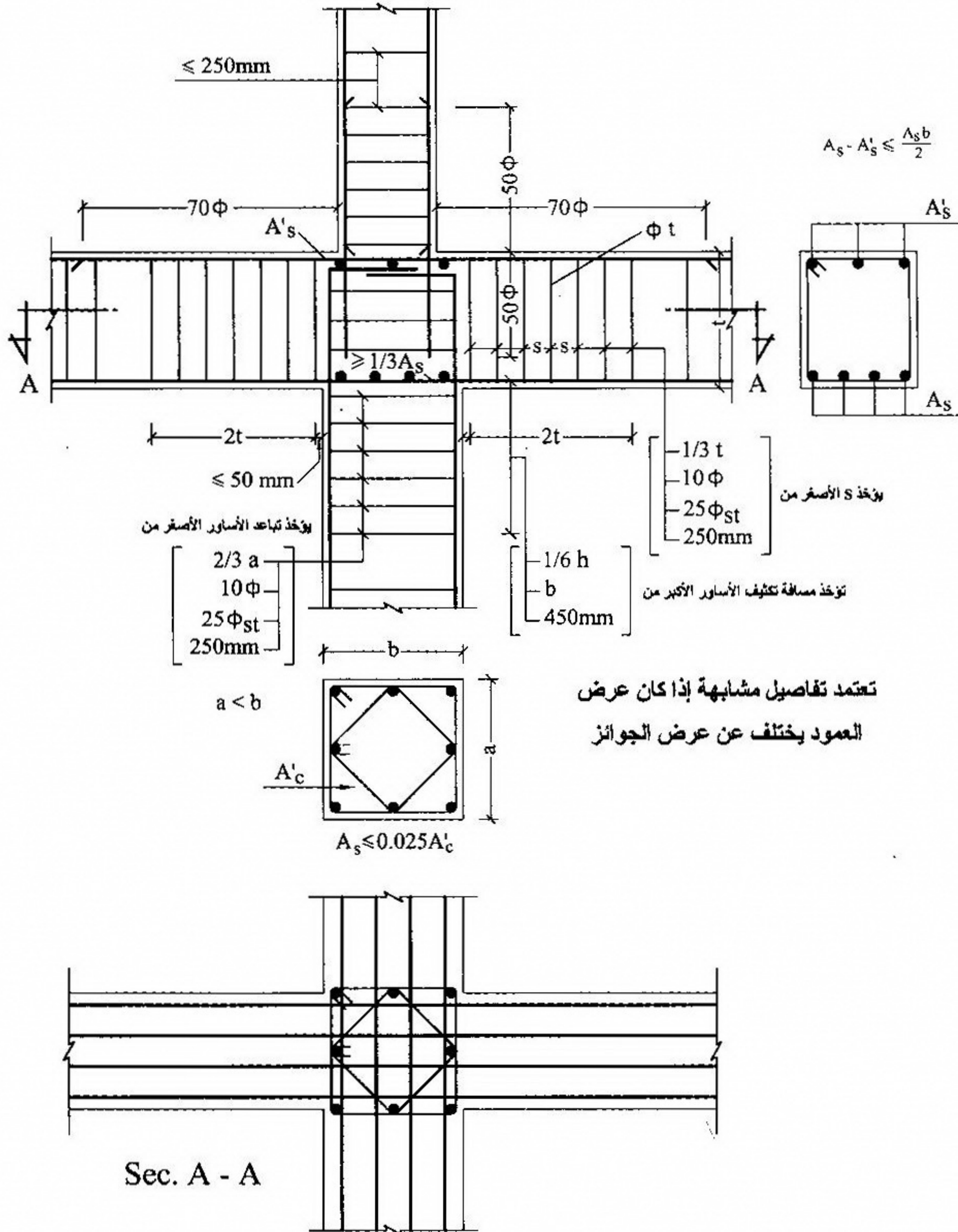


الشكل(1-26): تفاصيل تسليح عقدة طرفية في المنطقة (2،3) [32].

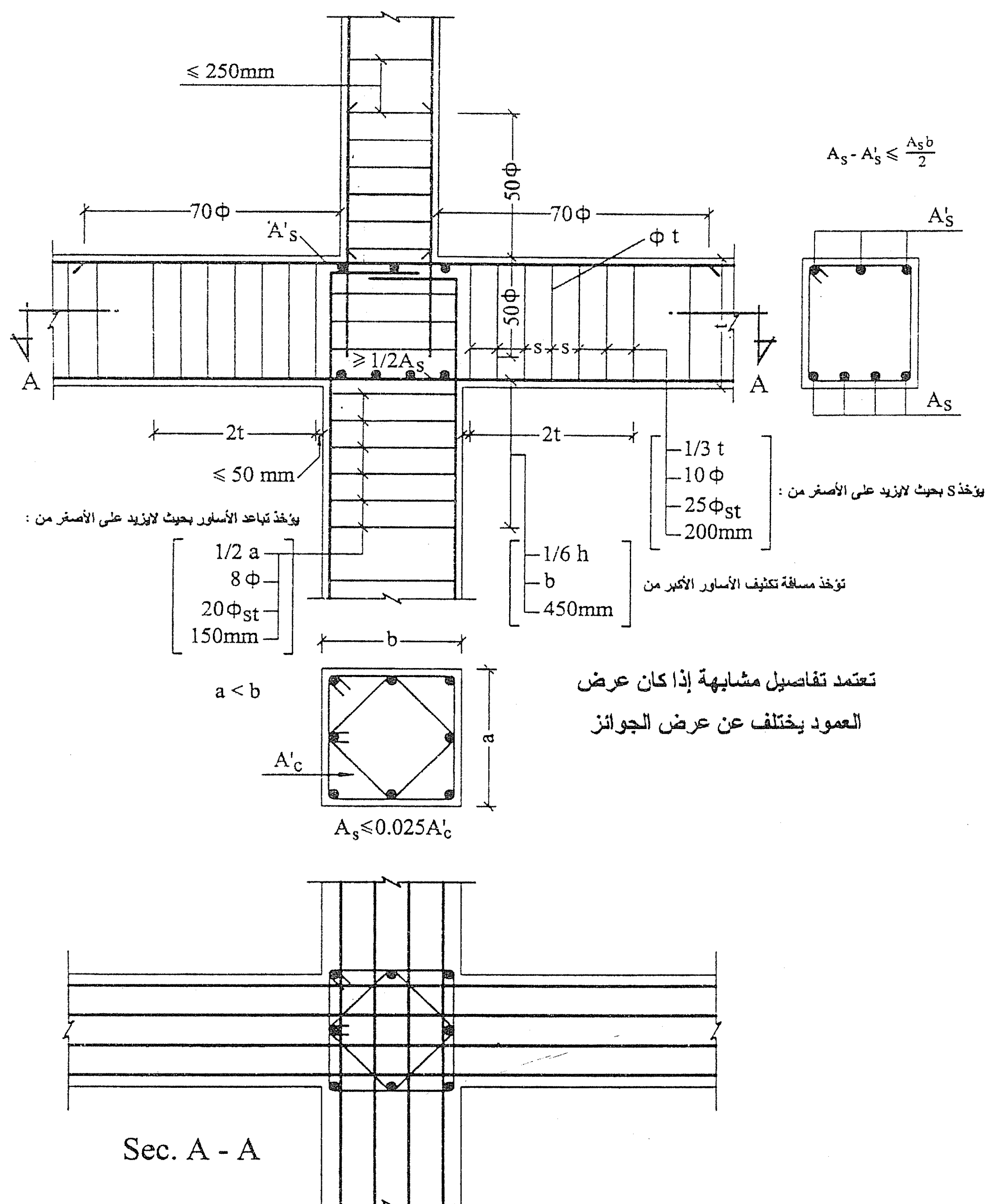


الشكل(1-27): تفاصيل تسليح عقدة داخلية مع أبعاد عمود ثابتة في المنطقة (1) [32].

الشكل(1-28): تفاصيل تسليح عقدة داخلية مع أبعاد عمود ثابتة في المنطقة (2,3) [32].



الشكل(1−29): تفاصيل تسليح عقدة داخلية مع أبعاد عمود متغيرة في المنطقة (1) [32].



الشكل(1−30): تفاصيل تسليح عقدة داخلية مع أبعاد عمود متغيرة في المنطقة (2,3) [32].

1−12− دراسات تجريبية سابقة (Previous Experimental Studies):

لقد أجريت دراسات وأعمال تجريبية مستفيضة بهدف الحصول على فهم أفضل لسلوك عقد الإطارات البيتونية المسلّحة، ونعرض في الفقرات الآتية بعض من الأبحاث السابقة عن سلوك العقد تحت تأثير الحمولات الدورية:

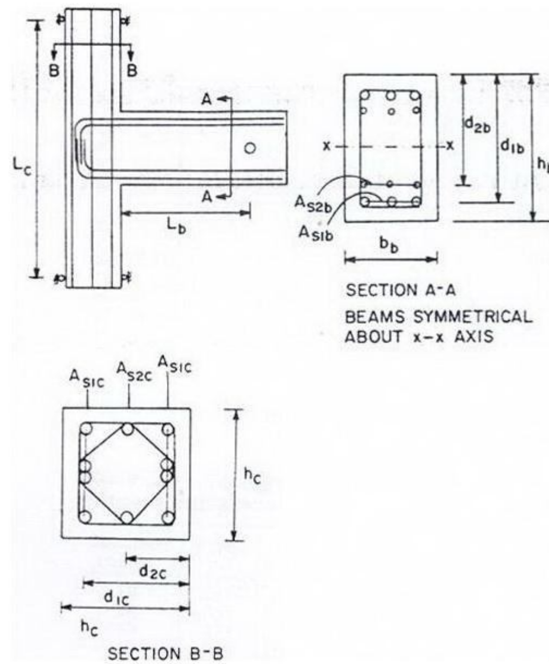
1− في عام 1985 اختبر **(Ehsani and Wight)** [14] ست عينات من وصلات جائز− عمود خارجية بيتونية مسلّحة الشكل(1−31)، كانت المتغيرات الرئيسية نسبة مقاومة الانعطاف للعمود إلى مقاومة الانعطاف للجائز، إجهاد القص في العقدة، والتسليح العرضي في العقدة. خضعت العينات الستة لحمولة دورية منعكسة ممثلة بمستويات انتقال في طرف الجائز تعبر عن المستويات التي يمكن أن يصل الانتقال إليها خلال الزلازل المتوسطة والعالية الشدة الشكل(1−32). ثم تمت مقارنة النتائج مع مشروع توصيات التصميم للجنة (ASCE-ACI 352) وتوصلوا إلى أنه في بعض الحالات يمكن التساهل بتوصيات التصميم بشكل آمن.

وتم وضع الاستنتاجات الآتية:

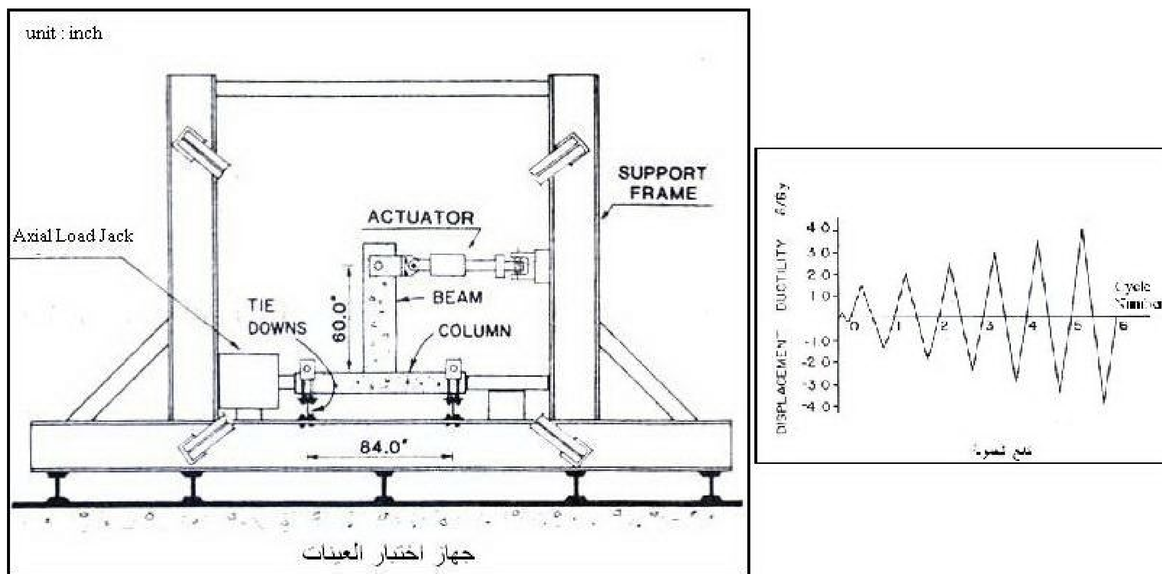
- يجب أن تكون نسبة مقاومة الانعطاف للعمود إلى مقاومة الانعطاف للجائز أكبر من 1.4، لتجنب تشكل المفاصل اللدنة في العقد، حيث أن النسبة الكبيرة تحسّن من سلوك الوصلات.
- يجب أن لا يتجاوز إجهاد القص الأعظمي للعقدة في الوصلات الطرفية (* 1.0 $\sqrt{f_c'}(MPa)$) وذلك لتخفيض التضرر في العقدة وانزلاق قضبان الجائز والعمود، وإن المحافظة على إجهاد القص أدنى من هذا الحدّ يحسّن من سلوك الوصلة.
- على الرغم من أن انزلاق قضبان الجائز والعمود غير مرغوب به، إلا أنه لا حاجة لوضع حدّ لهذه المشكلة بشكل نهائي، حيث أن العينات التي تعرضت قضبانها لانزلاق جزئي في دورات التحميل الأخيرة أظهرت سلوك عام جيد.
- نلاحظ تحسّن في سلوك العينات عندما يترافق التسليح العرضي الإضافي مع تحقق شرط نسبة المقاومة وإجهاد القص للعقدة، مع الإشارة إلى صعوبة تنفيذ هذا التسليح.
- تعطي التوجيهات الحالية نتيجة جيدة في اختيار تسليح العقدة العرضي لتحقيق سلوك جيد للعينات في حال كانت نسبة مقاومة الانعطاف ، إجهاد قص العقدة، وشروط إرساء القضبان تقريباً مساوية لمشروع توصيات لجنة (ASCE-ACI 352)1976، بينما في حال كان أحد هذه الشروط أكبر بشكل ملحوظ من الحدود الدنيا للتوصيات عندها يمكن تخفيض تسليح العقدة العرضي بشكل آمن ومحقق.

Designation	Specimen number					
	1B	2B	3B	4B	5B	6B
L_c, in.	84.0	84.0	84.0	84.0	87.0	87.0
h_c, in.	11.8	11.8	11.8	11.8	13.4	13.4
d_{1c}, in.	9.6	9.6	9.6	9.6	11.4	11.4
d_{2c}, in.	5.9	5.9	5.9	5.9	6.7	6.7
A_{s1c}*	3#6	4#6	3#6	4#6	4#8	3#6
A_{s2c}*	2#6	2#6	2#6	2#6	2#8	2#6
L_b, in.	60.0	60.0	60.0	60.0	42.0	42.0
h_b, in.	18.9	17.3	18.9	17.3	18.9	18.9
b_b, in.	10.2	10.2	10.2	10.2	11.8	11.8
d_{1b}, in.	16.9	15.4	16.9	15.4	16.9	16.9
d_{2b}, in.	15.0	13.4	15.0	13.4	15.0	15.0
A_{s1b}'	3#7	3#7	3#7	3#7	3#7	3#7
A_{s2b}'	3#6	3#6	3#6	3#6	3#7	2#6
Hoops‡	2	2	3	3	2	2
f'_c, psi	4870	5070	5930	6470	3530	5770

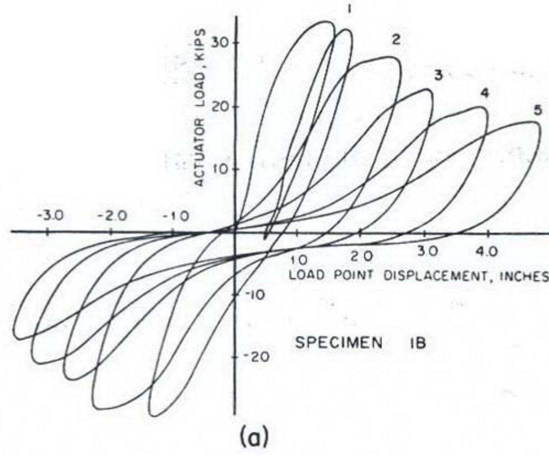
Note: 1 in. = 25.4 mm; 1 psi = 0.0069 MPa.
*Summary of column steel yield stress, in ksi; bar size #6 = 71.0, #8 = 60.0.
'Summary of beam steel yield stress, in ksi; bar size #6 = 50.0, #7 = 48.0.
‡Number of sets of #4 hoops in the joint with yield stress of 63.4 ksi.

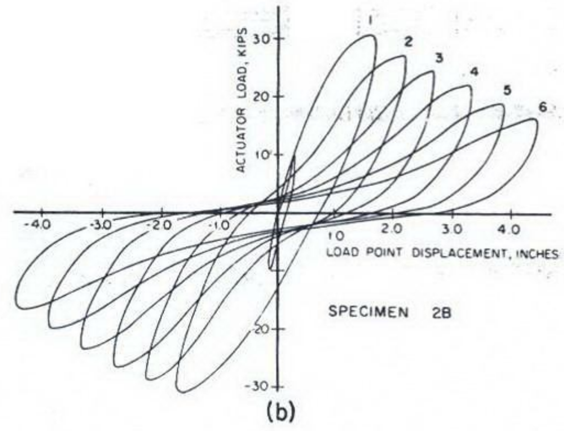


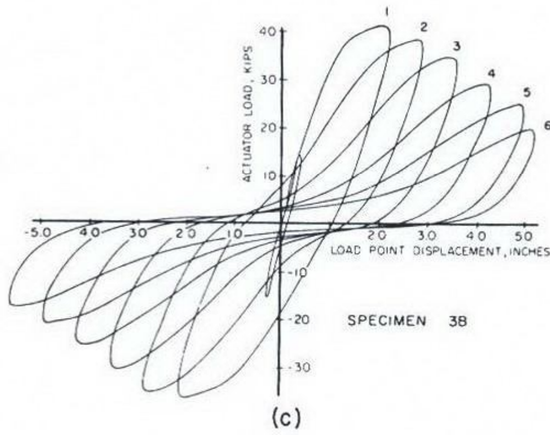
الشكل(1−31): أبعاد، خصائص، وترتيب التسليح للعينات [14].

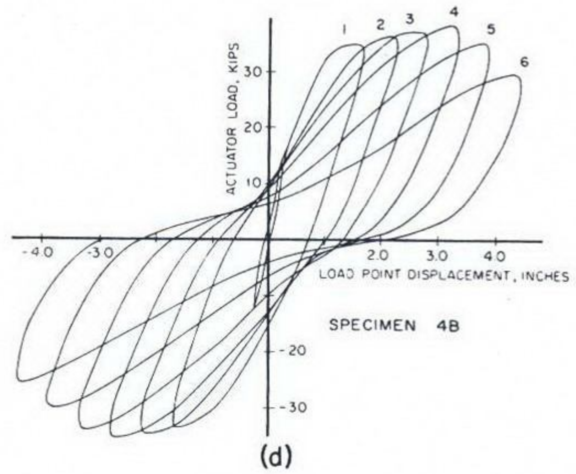


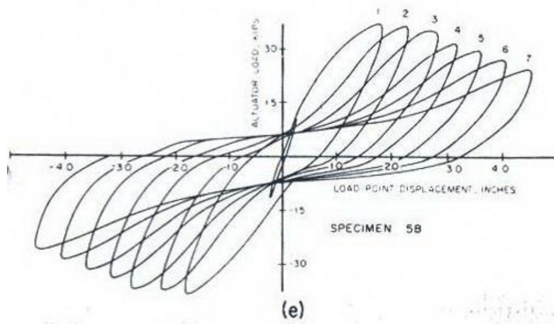
الشكل(1−32): جهاز اختبار العينات [14].

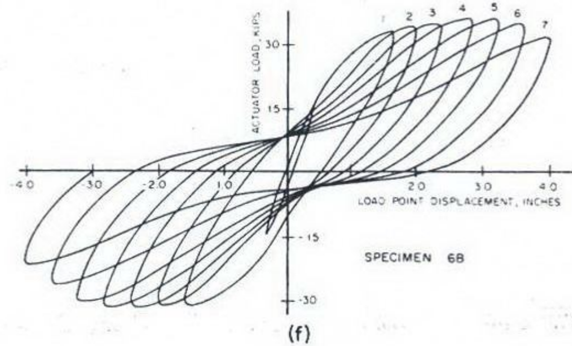










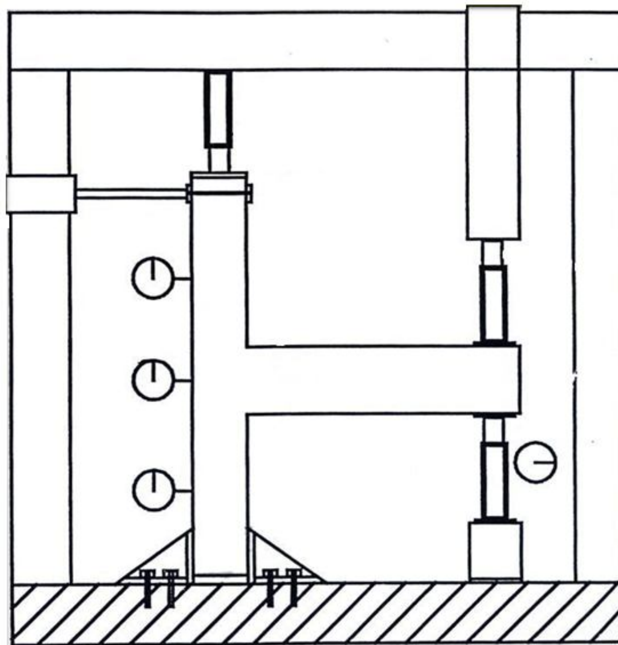


الشكل(1-33): مخطط (حمولة- انتقال نقطة تطبيق الحمولة) للعينات المختبرة[14] .

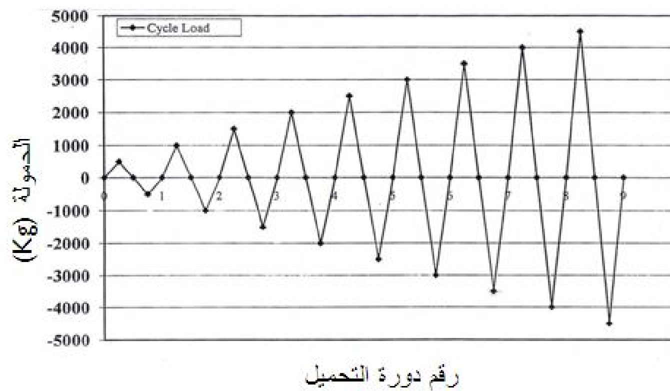
2- **(Bitar MA , 2001)** [7]، في هذا البحث تم إجراء تجارب على وصلات جائز- عمود طرفية في مختبر تجريب البيتون المسلّح التابع لكلية الهندسة في جامعة القاهرة ودراسة سلوكها تحت تأثير بارامترات مختلفة منها حمولة العمود المحورية وتطويق العقدة بالأساور وكانت النتائج كما يلي:

a. تقوم حمولة العمود المحورية بتحسين أداء العقدة، كما أنها تقوم بتخفيض الانتقال الحاصل في طرف الجائز في العينات المدروسة، وتؤخر ظهور التشققات في منطقة العقدة.

b. إن استمرار أساور العمود خلال العقدة يؤخر ظهور التشققات فيها ويعطيها مطاوعة أعلى وحمولة انهيار أعلى.



الشكل(1-34): جهاز اختبار العينات [7].



الشكل(1-35): تابع التحميل الدوري [7].

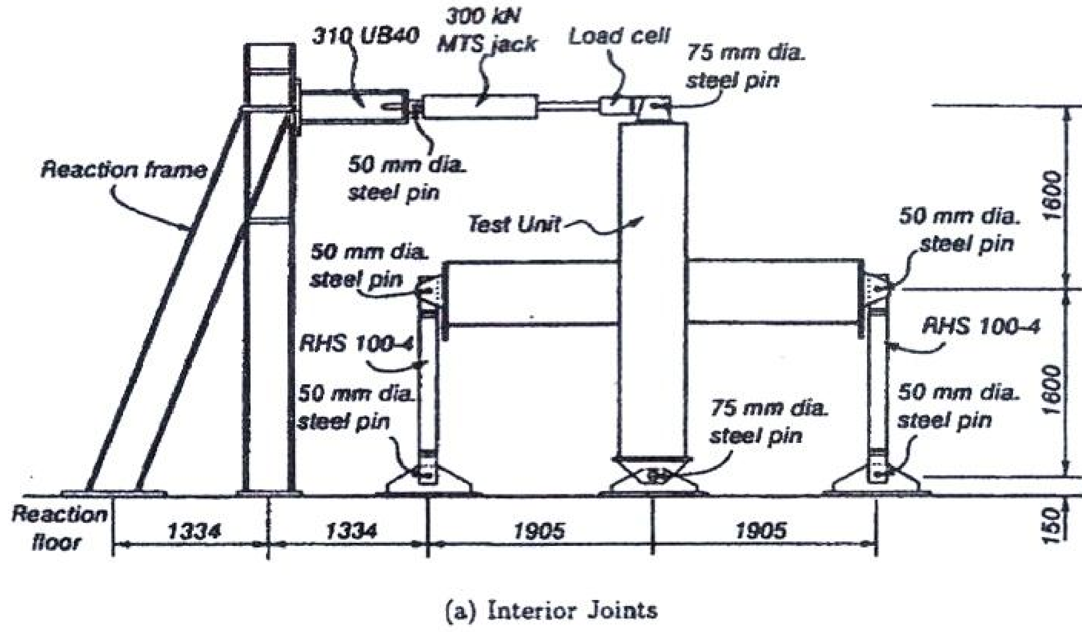
3- في عام 2002 قام الباحث **(Park)** [20] بدراسة سلوك مجموعة من وصلات جائز- عمود طرفية وداخلية مع تفاصيل تسليح تمثّل تسليح الأبنية القائمة في نيوزيلندا قبل عام 1970.

لقد أُجريت التجارب باستخدام تسليح طولي أملس ومحلزن، وكانت نواة العقدة في الوصلات الداخلية والطرفية تعاني من النقص في التسليح العرضي، ويظهر ضعف الإرساء للقضبان الطولية المارّة في العقد الداخلية، في إحدى وصلات جائز- عمود طرفية تم ثني القضبان الطولية العلوية والسفلية في الجائز إلى خارج نواة العقدة حيث كانت تفصيلات التسليح هذه معتمدة في الأبنية القائمة في نيوزيلندا قبل عام 1970 ، وفي وصلة طرفية أخرى تم ثني القضبان إلى داخل العقدة لتشابه التوصيات الحالية المعتمدة، وتمت مقارنة سلوك هاتين الوصلتين، كما تم اختبار وصلة جائز- عمود داخلية مع تراكب لقضبان التسليح الطولية للجائز قرب وجه العمود.

ومن خلال هذه التجارب وضع الباحث الاستنتاجات الآتية:

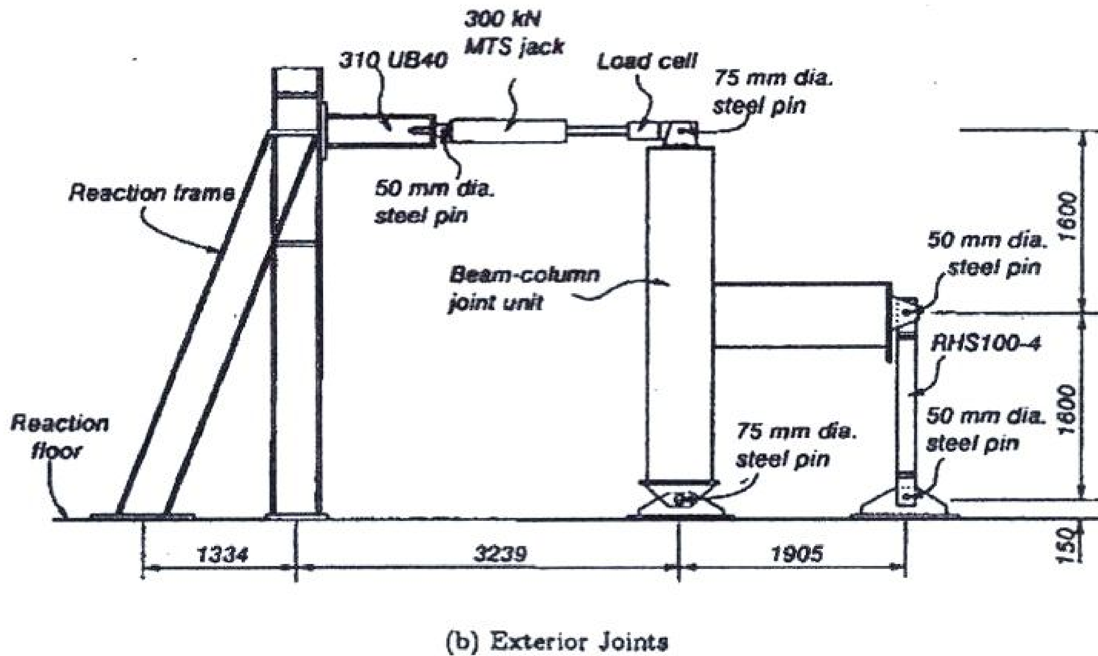
- تظهر العقد الطرفية مع ثني قضبان الجائز إلى داخل نواة العقدة سلوك أفضل من تلك التي تثنى إلى خارج العقدة.
- في حالة استخدام القضبان المحلزنة كان سلوك العقد أفضل من استخدام القضبان الملساء.
- أبدت العينات المحمَلة بحمولة عمود طولية محورية ضاغطة زيادة كبيرة في الصلابة والمقاومة، حيث أعاقت الحمولة الضاغطة تشققات البيتون المبكرة في العقدة.
- كان السلوك أفضل في حال تراكب القضبان المحلزنة في منطقة المفصل اللدن المحتمل قرب وجه العمود عن القضبان الملساء، حيث فقد التراكب بالوصل تماماً في أول حلقة تحميل.
- أظهرت الأعمدة غير المطوقة بتسليح عرضي مناسب في منطقة العقدة سلوك ضعيف، ولحل هذه المشكلة يمكن استخدام قمصان من البيتون المسلّح.

ويظهر الشكلين (1-36) و (1-37) أجهزة اختبار الوصلات الداخلية والطرفية على الترتيب التي تم استخدامها في إجراء هذه التجارب.



(a) Interior Joints

الشكل(1−36): جهاز اختبار الوصلات الداخلية[20].



(b) Exterior Joints

الشكل(1−37): جهاز اختبار الوصلات الطرفية[20].

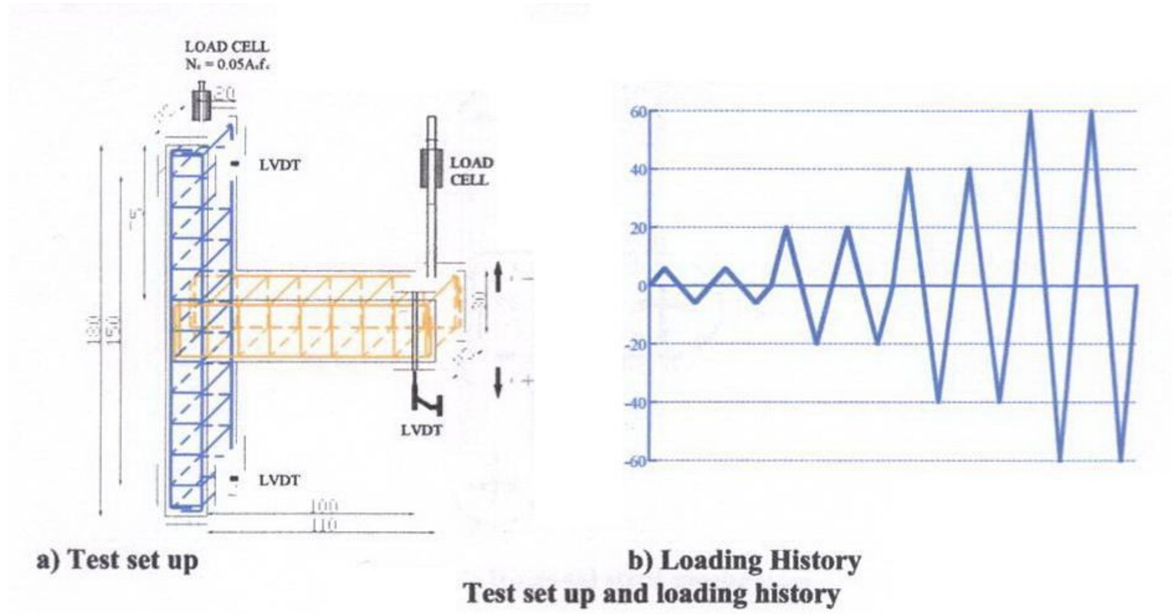
4- (Sirkelis, GM, 2005) [28] في هذا البحث تمت دراسة واختبار تقنيات مبتكرة لتسليح القص، باستخدام تسليح حلزوني مستطيل مستمر في الأعمدة البيتونية المسلّحة (بدل من الأساور الأفقية التقليدية)، تحت تأثير حمولات زلزالية. يضم البرنامج التجريبي وصلتي جائز- عمود طرفية، طول العمود (1.8m) ومقطعه (20*20 cm)، طول الجائز (1.10m) ومقطعه 20*30 cm) الشكل(1-38)، تسليح القص المستخدم في العينة الأولى هو تسليح حلزوني مستطيل مستمر، بينما يكون تسليح القص في العينة الأخرى عبارة عن أساور أفقية تقليدية، يبين الشكل(1-39) تابع الحمولة الدورية المطبقة والمستخدم في التجارب، ومن مقارنة النتائج يمكن ملاحظة مايلي:

a- أظهرت العينة مع تسليح قص حلزوني مستطيل استجابة أفضل فيما يخص مستوى الحمولات الأعلى وتبديد للطاقة أعلى بمقدار(34%) بالمقارنة مع العينة ذات الأساور التقليدية.

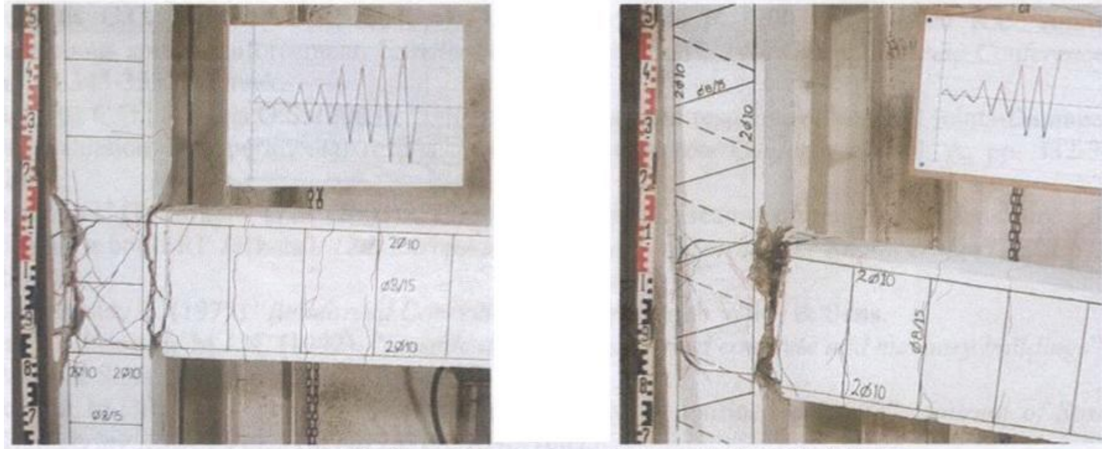
b- ظهر التضرر في العينة ذات تسليح الأساور الأفقية $AJ1_s$ وتمركز في لوح العقدة، وبالمقابل فإن التضرر في العينة ذات تسليح حلزوني مستطيل $AJ1_{sp}$ حصل في المنطقة الحرجة للجائز مع تشكل المفصل اللدن، يعتبر هذا السلوك هو السلوك المفضل المتوقع طالما أن التضرر يبقى خارج لوح العقدة الشكل(1-40).

Beam – Column Spesimens	
Column cross section: 20x20 cm Longitudinal bars : 4Ø10 Shear reinforcement : Ø8/15	**Beam** cross section: 20/30 cm Longitudinal bars: 2Ø10 Up, 2Ø10 Down Shear reinforcement : Ø8/15
(180)	(180)
Specimen AJ1s: 1 stirrup Ø8/15 in the joint body	**Specimen AJ1sp:** 1 spiral step Ø8/15 in the joint body

الشكل(1-38): خصائص العينات [28].



الشكل(1−39): طريقة اختبار العينات وتابع الحمولة الدوري [28].



الشكل(1−40): أنماط التشققات للعينات المدروسة [28].

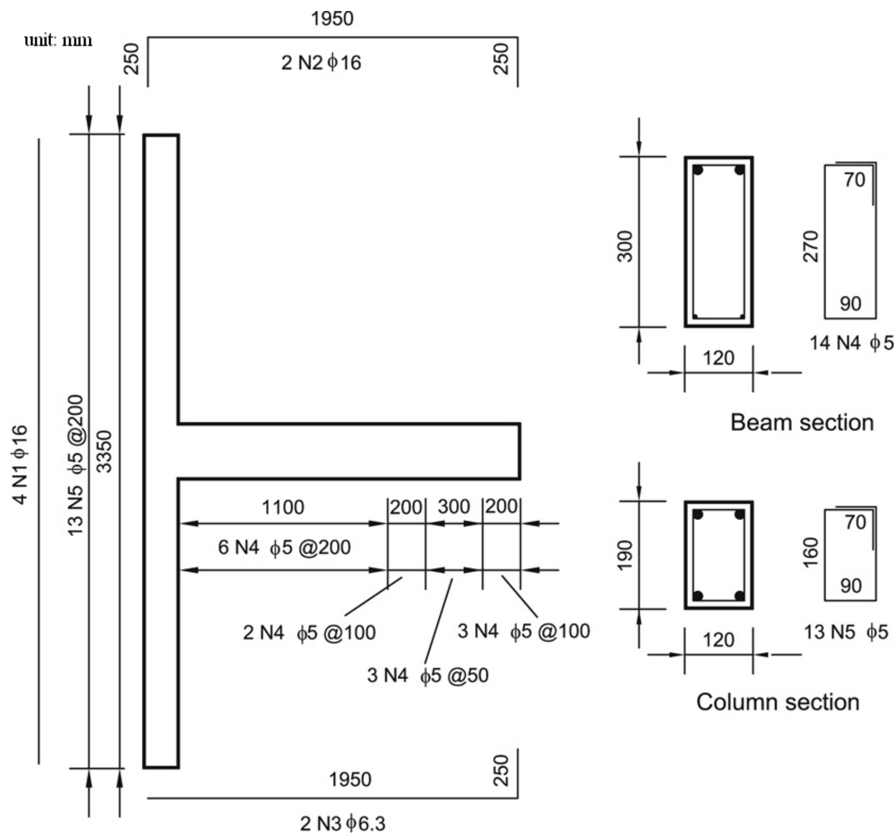
5- **(Haach VG et al., 2008)** [15] في هذا البحث تمت دراسة سلوك خمس عينـــات وصـــلات جائز− عمود طرفية مع نسب تسليح عرضي مختلفة مبينة في الشــكل(1-41) والشــكل(1−42)، تحت تأثير الحمولة المحورية المطبقة على العمود، تجريبياً وتحليلياً من خلال المحاكاة باســتخدام برنامج ABAQUS (الشكل(1−43)،الشكل(1−44))، وأجريت مقارنة النتائج التحليلية مع النتــائج التجريبية للتحقق من صلاحية المحاكاة وكانت الاستنتاجات كالآتي:

a. لم تولّد لا مركزية حمولة العمود المحورية تغيرات هامة في سلوك العقدة.

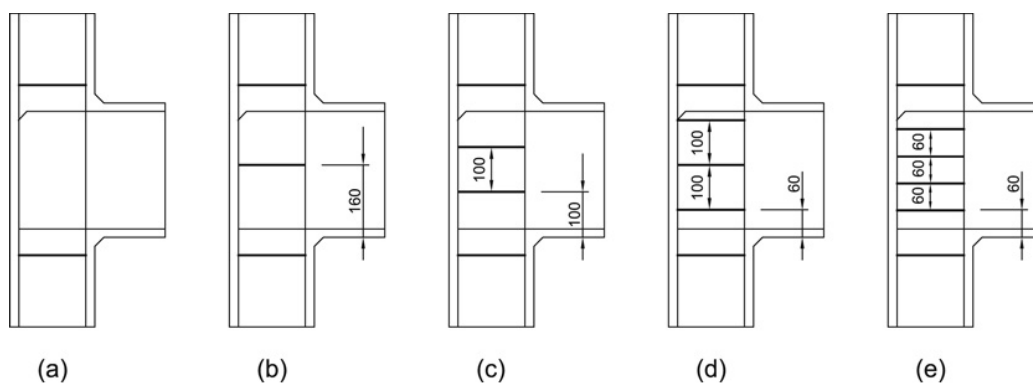
b. إن الزيادة في نسبة الأساور يجعل توزع الإجهادات ضمن العقدة أكثر انتظاماً.

c. تمتص الأساور المتوضّعة في القسم العلوي في العقدة جزءاً من إجهاد الشد المتولّد من التسليح الطولي للجائز ويحسّن إرساءها.

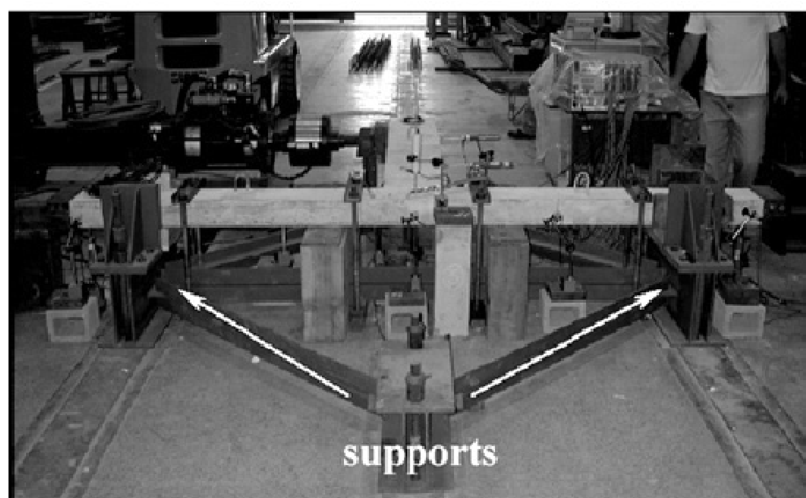
d. تم رصد قيم هامة وخطيرة للتشوهات في الأساور ضمن العقدة في الوصلات المحملة بقيم حمولة محورية صغيرة، أكثر من تلك الوصلات المحملة بحمولات محورية ذات قيم عالية.



الشكل(1-41): الأبعاد الهندسية، تفاصيل التسليح للعينات المدروسة [15] .

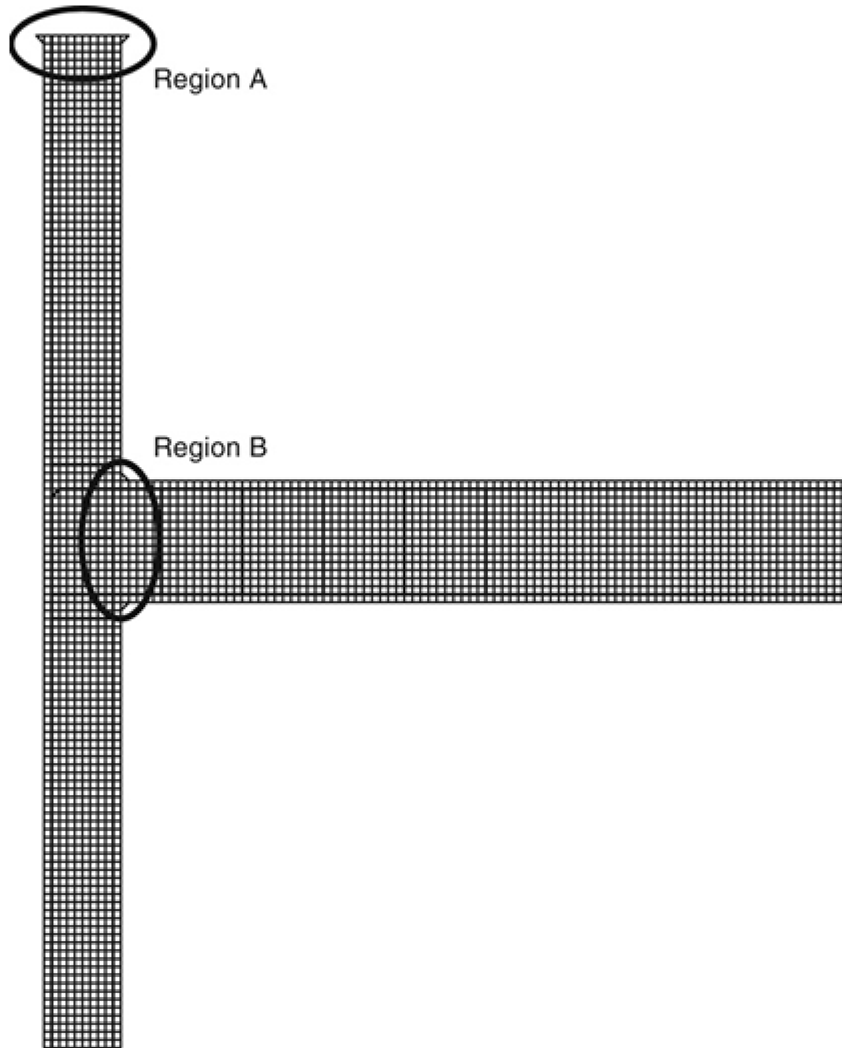


الشكل(1-42): نسبة الأساور في العينات المدروسة [15].





الشكل(1-43): جهاز اختبار العينات [15].



الشكل(1−44): النموذج التحليلي [15].

6− **(Jong-Yoon Lee et al., 2009)** [16]، في هذا البحث تمت دراسة خمس عينات من وصلات جائز− عمود داخلية الشكل(1−45) والشكل(1−46)، وتم اقتراح طريقة لتوقع مطاوعة العقد التي تنهار على القص بعد نشوء المفاصل اللدنة عند أطراف الجوائز المجاورة للأعمدة وتمت ملاحظة ما يلي:

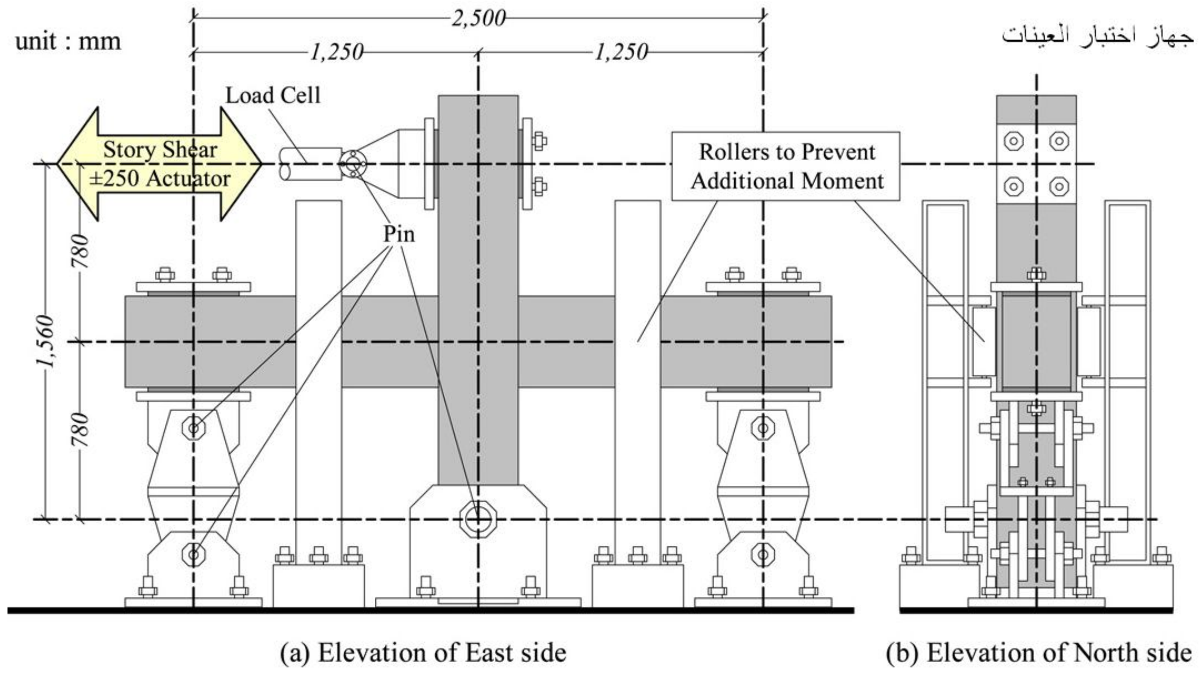
a. زيادة كبيرة في التشوه المحوري الطولي في مركز مقطع الجائز بعد تشكل المفاصل اللدنة نتيجة أن المحور المحايد للجائز يستمر بالانتقال باتجاه الليف المضغوط الخارجي.

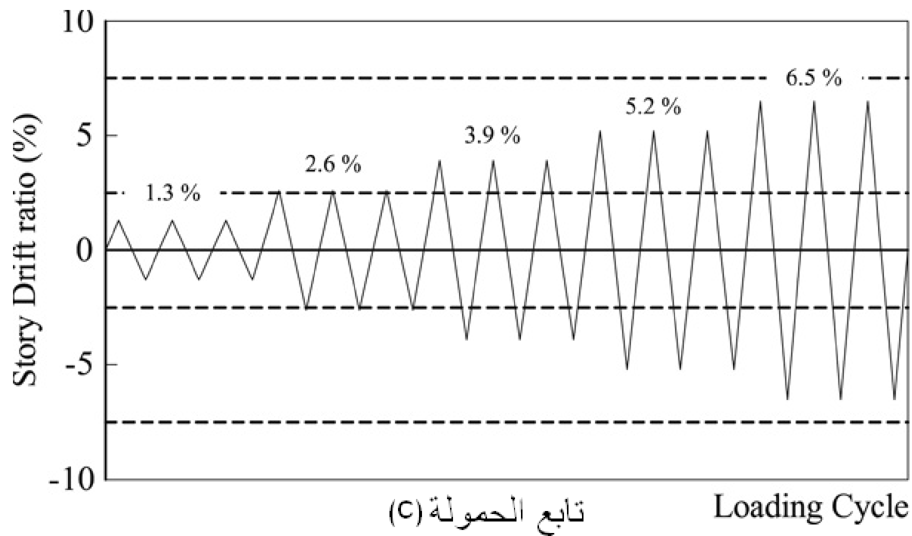
b. التشوهات اللدنة في قضبان الجائز تستمر بالزيادة مع كل دورة تحميل.

c. تسبب هذه الزيادة في التشوه المحوري توسّع في الشقوق المتشكلة في العقدة وهذا يقود إلى تخفيض في مقاومة القص للعقدة.

d. تشير دراسة هذه العينات إلى أن تشوه العقدة يزداد مع تناقص كمية قضبان الجائز.

يوضح الشكل(1−47) أنماط التشققات في الوصلات الخمسة المختبرة.

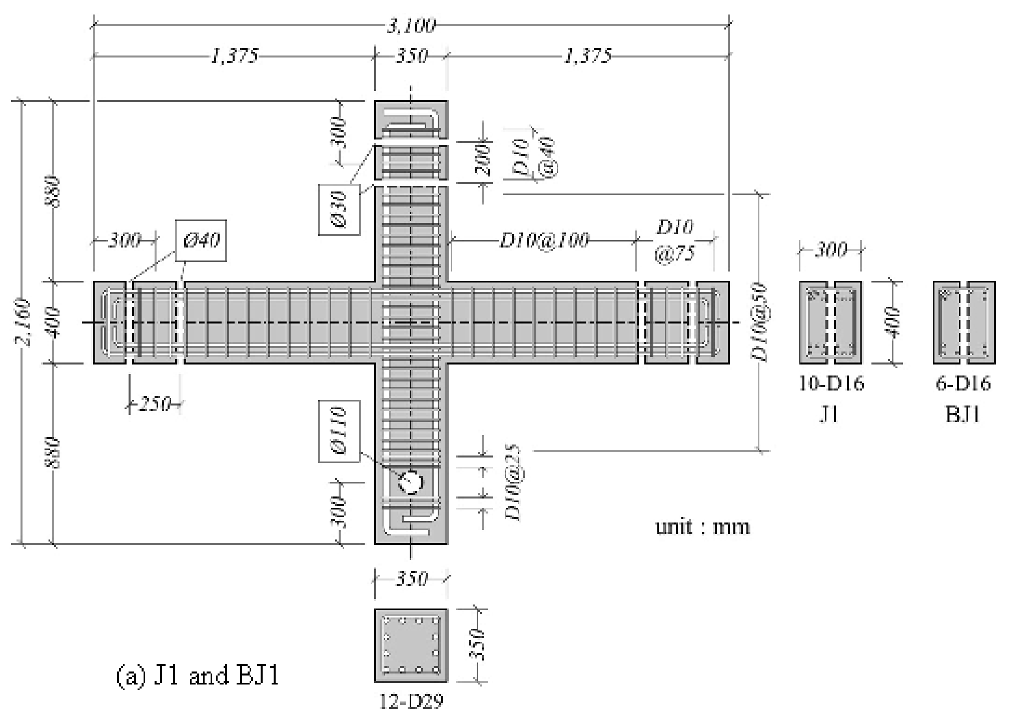


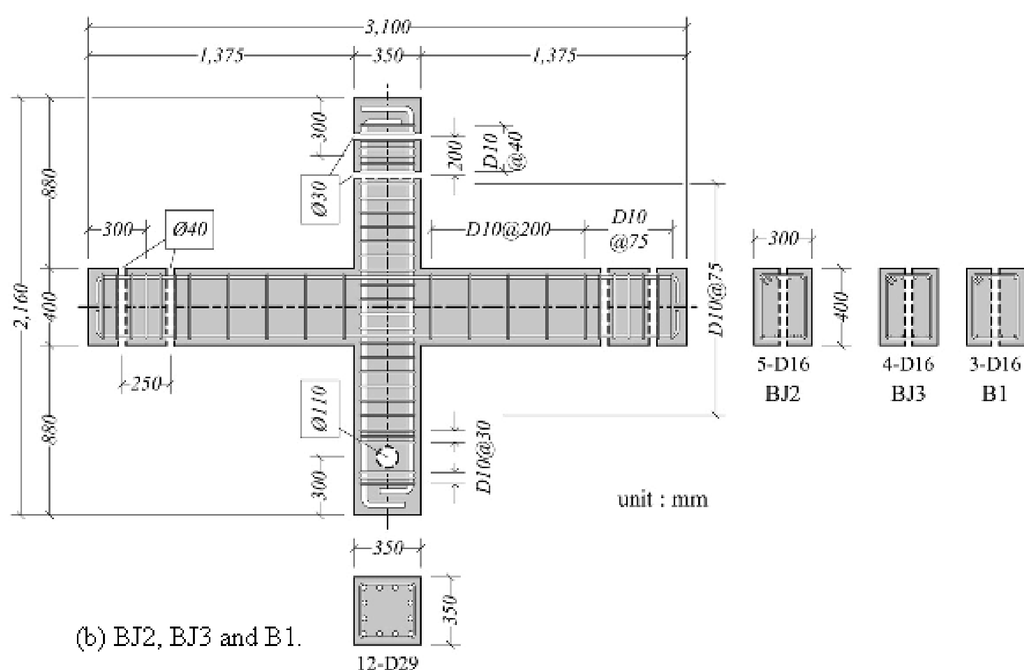


الشكل(1−45): جهاز اختبار الوصلات وتابع الحمولة[16] .

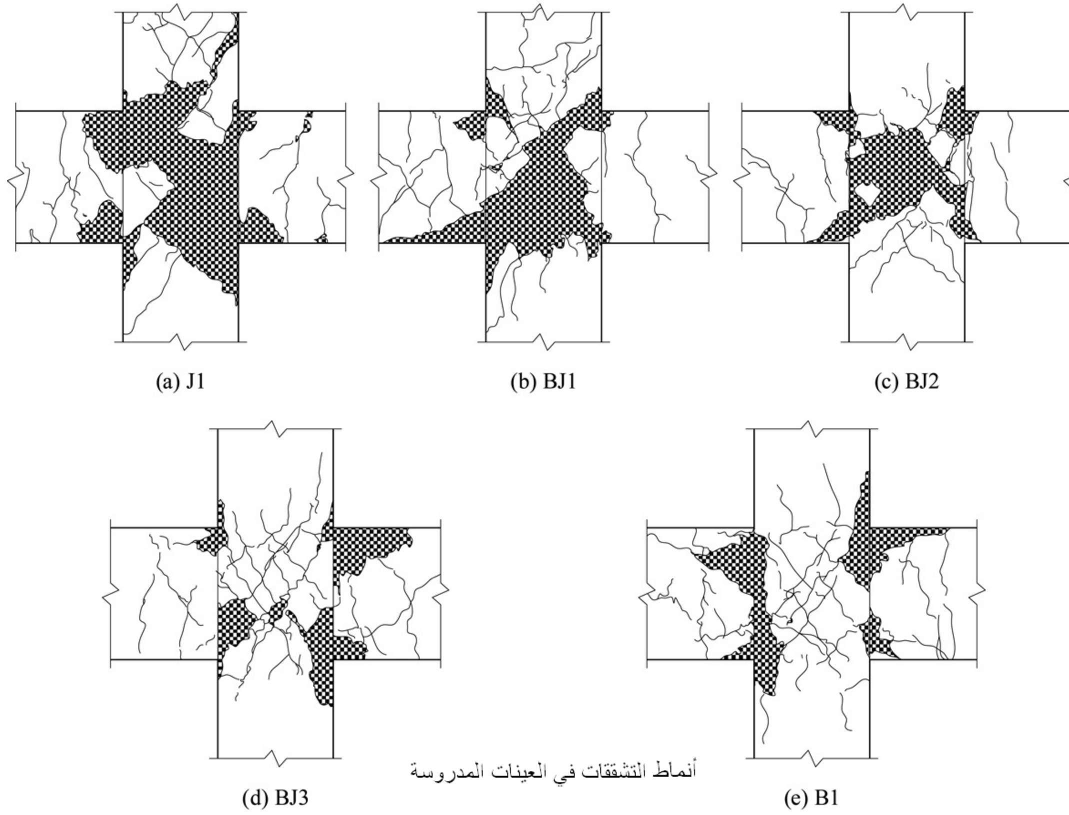
Properties of specimens.

Specimens	Beam							Column								f'_c (MPa)	V_{j1} (kN)	V_{j2} (kN)	V_{jby} (kN)	V_{j1}/V_{jby}	V_{j2}/V_{jby}
	Reinforcing bar (Upper and lower each)			Stirrup				Reinforcing bar			Hoop										
	f_{by} (MPa)	ρ_{bu}, ρ_{bl}	n_b	f_{sy} (MPa)	ρ_s	s_b (mm)	n_s	f_{cy} (MPa)	ρ_c	n_c	f_{hy} (MPa)	ρ_h	s_h (mm)	n_h							
J1	509.9	0.0116	10-D16	510.4	0.0048	100	D10	514.4	0.0629	12-D29	510.4	0.0081	50	D10	40.0	1194	896	1231	0.97	0.73	
BJ1	509.9	0.0099	6-D16	510.4	0.0048	100	D10	514.4	0.0629	12-D29	510.4	0.0081	50	D10	40.0	1194	896	802	1.49	1.12	
BJ2	509.9	0.0083	5-D16	510.4	0.0024	200	D10	514.4	0.0629	12-D29	510.4	0.0054	75	D10	40.0	1194	896	614	1.95	1.46	
BJ3	509.9	0.0066	4-D16	510.4	0.0024	200	D10	514.4	0.0629	12-D29	510.4	0.0054	75	D10	40.0	1194	896	500	2.39	1.79	
B1	509.9	0.0050	3-D16	510.4	0.0024	200	D10	514.4	0.0629	12-D29	510.4	0.0054	75	D10	40.0	1194	896	382	3.13	2.35	





الشكل(1-46): أبعاد، خصائص، وترتيب التسليح للعينات [16].



الشكل(1-47): أنماط التشققات في العينات المدروسة [16].

1-13- منهج البحث (Research Methodology):

بعد الاطلاع على عدد من التجارب التي تم إجراؤها في مختبرات عديدة حول العالم وذلك لتحديد سلوك العقد بمختلف أشكالها وتحت تأثير بارامترات مختلفة، تحت تأثير حمولات دورية محاكية للحمولات الزلزالية، سيكون العمل في هذه الأطروحة على دراسة سلوك عقد طرفية تحت تأثير حمولة العمود المحورية وتطويق العقدة بالأساور، ولكن نظراً لصعوبة القيام بتجارب مخبرية وعدم ضمان دقة أجهزة القياس وظروف المخبر العامة، فقد تم التوجه إلى استخدام برنامج التحليل ANSYS من أجل عمل محاكاة للعقد التي نرغب بدراستها بما يخدم هدف البحث.

حيث تم انتقاء تجارب أجريت في مختبر تجريب البيتون المسلّح التابع لكلية الهندسة في جامعة القاهرة [7]، وذلك لإمكانية الحصول على برنامج تجريبي متكامل يتضمن تفصيل تسليح الوصلات وخصائص المواد المستخدمة وتابع الحمولة الدورية المستخدم في التجربة بالإضافة إلى إمكانية معرفة كل الظروف المحيطة بالتجربة.

الفصل الثاني

الدراسة التحليلية

Analysis Study

2-1- مقدمة (Introduction):

تعتبر العقد مناطق حرجة في الإطارات البيتونية المسلّحة يجب تصميمها وتنفيذها بشكل مدروس، نظراً لكثافة التسليح فيها وأبعادها القليلة نسبياً.

تُعدّ حمولة العمود المحورية وتطويق منطقة العقدة بالأساور اثنين من البارامترات المتعددة التي تؤثر على سلوك عقد جائز- عمود طرفية خاضعة لحمولات زلزالية.

لقد تم في هذه الرسالة دراسة تأثير الحمولة المحورية على العمود وتطويق الأساور في منطقة العقدة من خلال استخدام المحاكاة العددية بواسطة برنامج البحث ANSYS النسخة 11، الذي يعتمد على طريقة العناصر المنتهية (FEM).

في البداية تم اختيار مجموعة من وصلات مختبرة في مخبر تجريب المواد في جامعة القاهرة [7]، من أجل إجراء محاكاة لها ومقارنة سلوك النماذج العددية مع العينات المختبرة لتقييم مدى فعالية المحاكاة، ثم بعد ذلك يمكن الاستفادة من النماذج العددية في دراسة مظاهر متعددة من سلوك الوصلات يصعب الحصول عليها في المخبر.

2-2- البرنامج التجريبي المختار (The Chosen Experimental Program) [7]:

من أجل أن تتناسب العينات مع المقاييس الهندسية لإطار التحميل المتوفر في المخبر، فقد تم تصميم وصب العينات بنصف المقياس.

يتضمن البرنامج التجريبي اختبار ثلاث عينات وصلات جائز- عمود كما هو واضح في الشكل (2-1)، (2-2)، (2-3).

الطول الكلّي للجائز (100cm) ، الارتفاع الكلّي للعمود (125cm) باستثناء العينة C1 طول العمود (150cm)، مقطع الجائز لكل العينات (12.5*30cm)، مقطع العمود لكل العينات

(20*25cm)، كل العينات مصممة وفق الكود المصري، التسليح العرضي لعناصر الوصلة (الجائز والعمود) محسوبة وفق (ACI-Asce committee 352) [2].

يتألف التسليح الطولي للجائز من قضيبين في الأعلى وقضيبين في الأسفل بقطر (19mm)، التسليح الطولي للعمود ويتألف من أربع قضبان بقطر (16mm).

قسمت منطقة الجائز إلى منطقتين، المنطقة الأولى قرب العقدة وتمتد حتى مسافة (50cm)، وتتألف من أساور بفرعين بقطر (6mm) كل (8cm)، المنطقة الثانية تمتد حتى نهاية الجائز وتتألف من أساور بفرعين بقطر (6mm) كل (12cm).

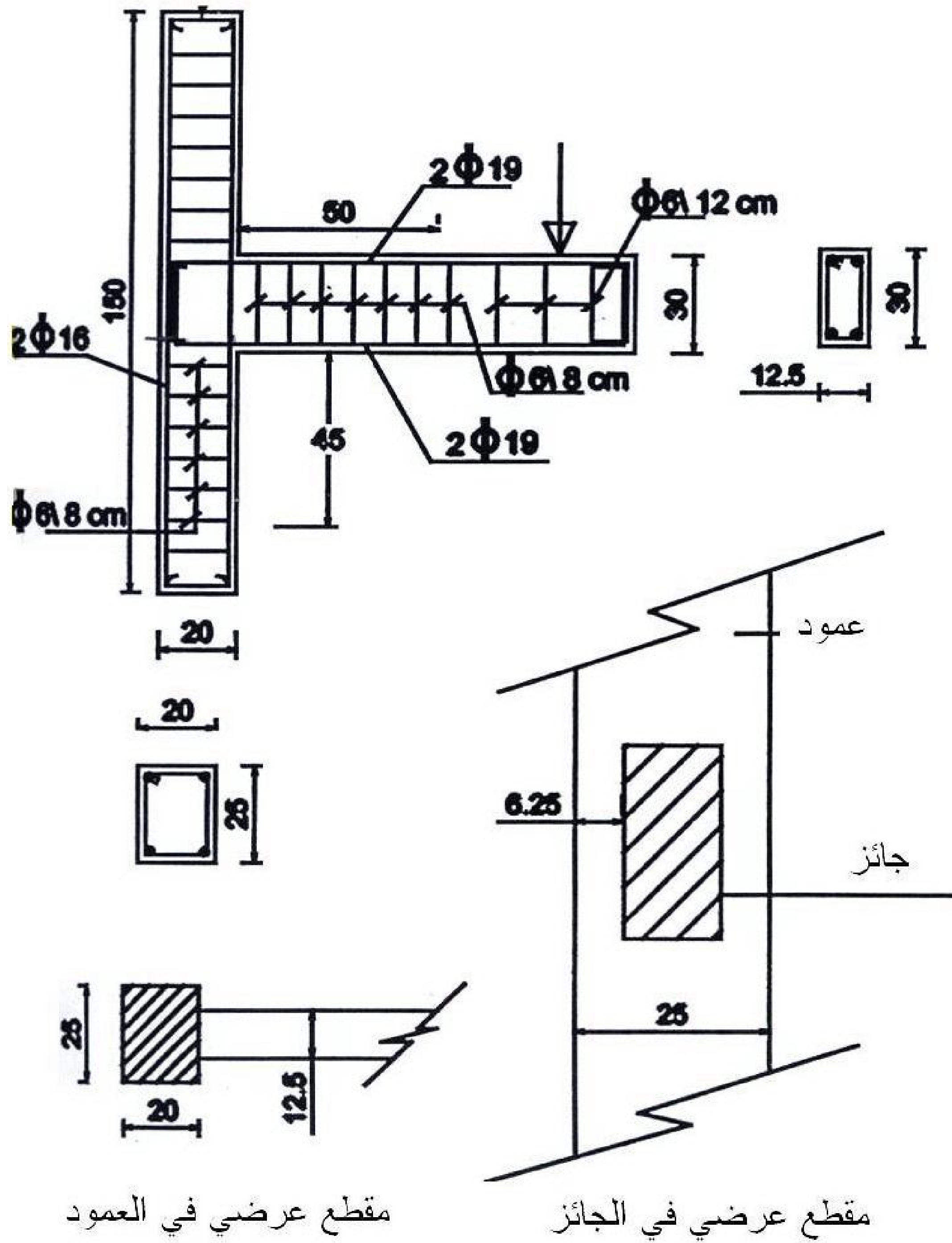
أما أساور العمود تمتد على كامل طوله بقطر(6mm) كل (8cm) ماعدا منطقة العقدة في العينات C1وC2، أما في العينة C3 تمتد الأساور داخل العقدة.

2-2-1- وصف العينات:

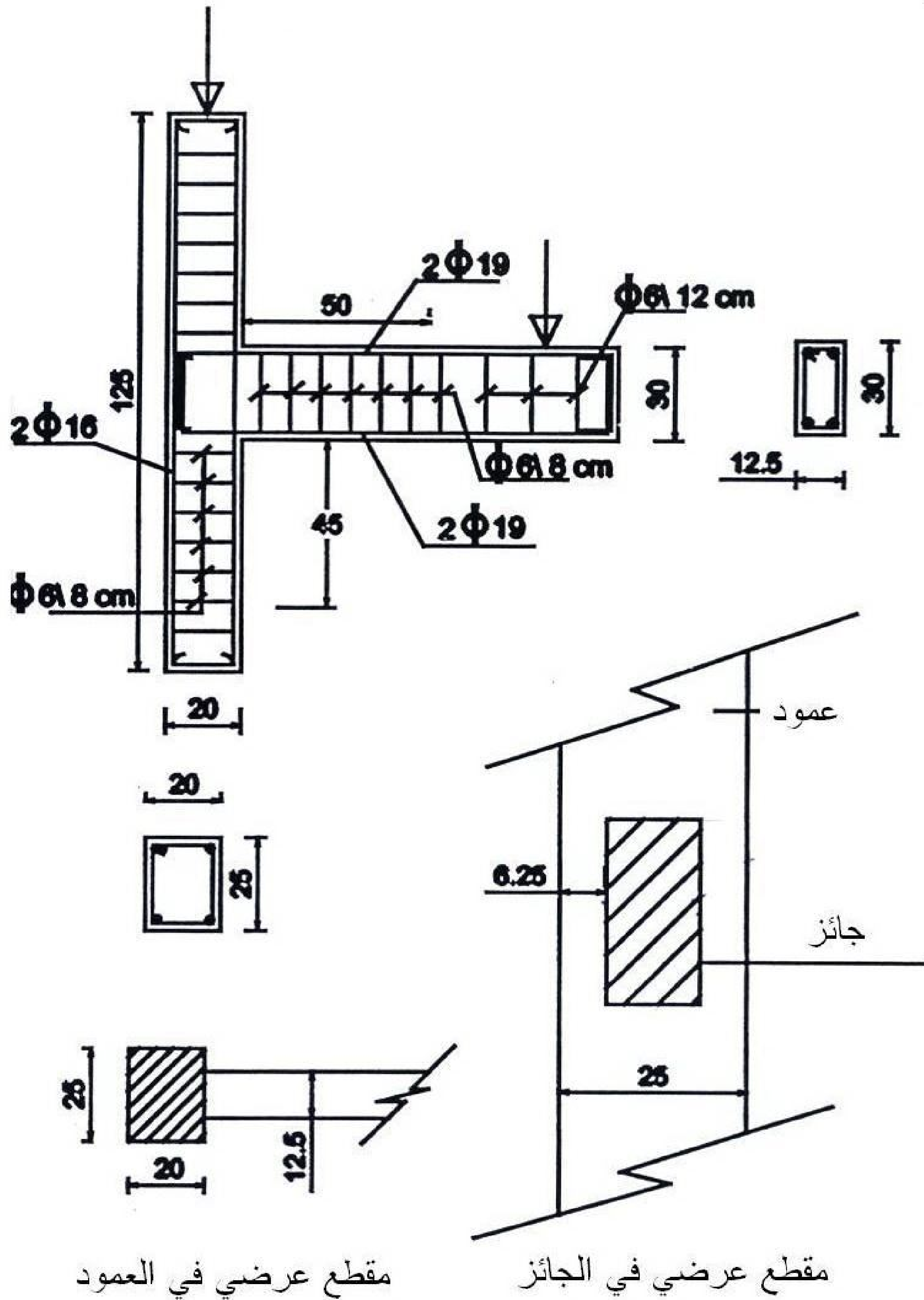
1- **العينة C1:** في هذه العينة ارتفاع العمود (150cm)، لا يوجد حمولة محورية مطبقة على العمود، يبين الشكل(2−1) تفاصيل التسليح، حيث يظهر تقارب أكثر للأساور قرب العقدة، كما أن أساور العمود لا تستمر ضمن العقدة، يتم إرساء قضبان الجائز الطولية بزاوية 90° وتمتد حتى وجه العمود الخارجي.

2- **العينة C2:** يتعرض العمود في هذه العينة إلى حمولة محورية ثابتة قيمتها (20ton)، يبين الشكل(2−2) تفاصيل التسليح، حيث يظهر تقارب الأساور في العمود والجائز قرب العقدة ، كما أن أساور العمود لا تستمر ضمن العقدة، ويتم إرساء قضبان الجائز الطولية بزاوية 90° وتمتد حتى وجه العمود الخارجي.

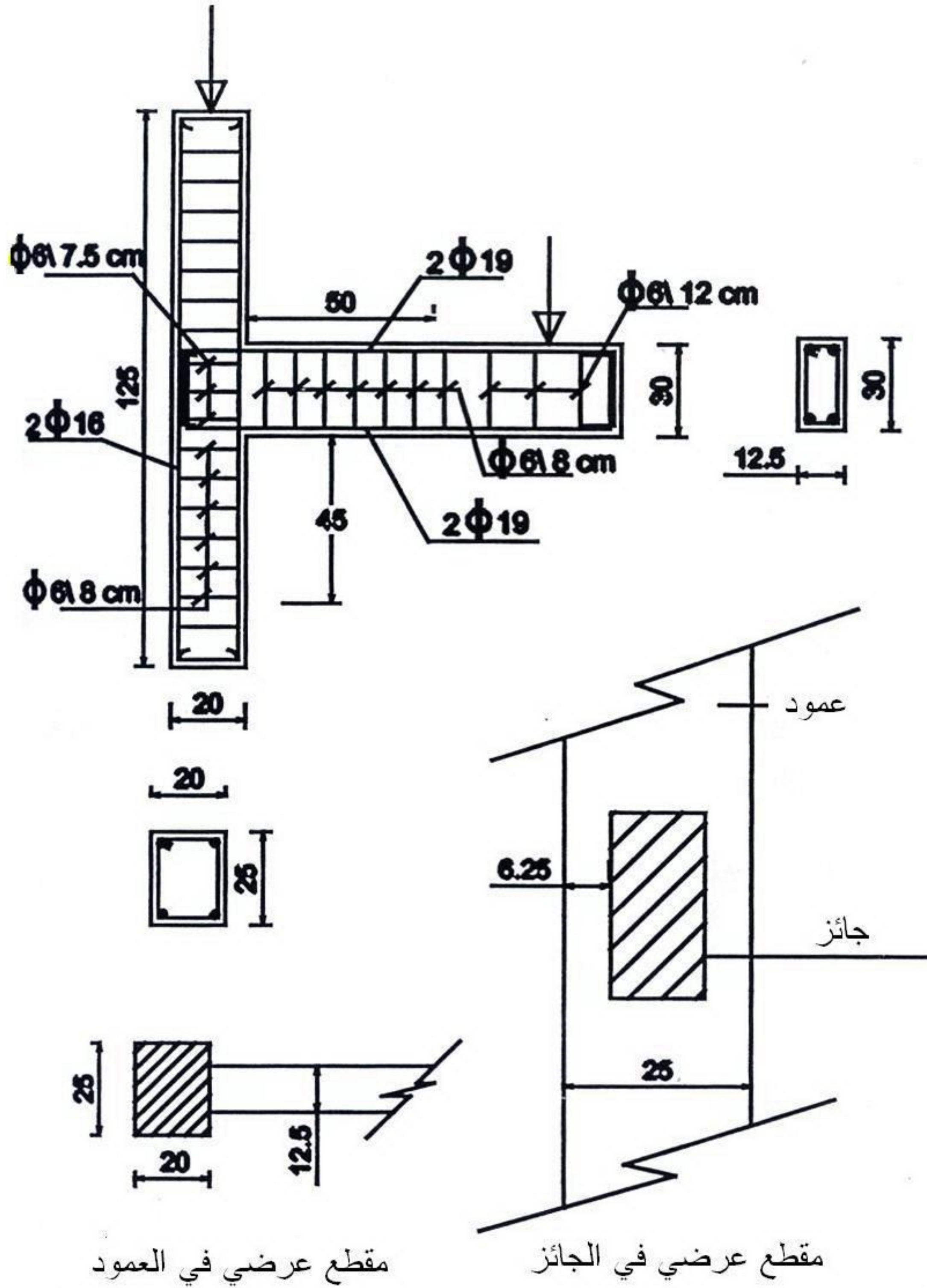
3- **العينة C3:** يتعرض العمود في هذه العينة إلى حمولة محورية ثابتة قيمتها (20ton)، يبين الشكل(2−3) تفاصيل التسليح، تستمر أساور العمود ضمن العقدة، ويتم إرساء قضبان الجائز الطولية بزاوية 90° وتمتد حتى وجه العمود الخارجي.



الشكل(2-1): تفاصيل تسليح الوصلة C1 [7].



الشكل(2-2): تفاصيل تسليح الوصلة C2 [7].



الشكل(2-3): تفاصيل تسليح الوصلة C3 [7].

2-3- المنهج التحليلي والمحاكاة باستخدام برنامج ANSYS

(Analytical Method and Simulation by Using ANSYS)

2-3-1- برنامج التحليل ANSYS:

يعتبر برنامج ANSYS من أضخم البرامج البحثية المتوفرة حالياً، والتي تعتمد على طريقة العناصر المنتهية (FEM) في نمذجة وتحليل المنشآت حيث يتوفر منه عدة نسخ مبينة في الشكل (2-4)، تختص كل نسخة في مجال محدد ونذكر منها ما يلي:

(ANSYS Ls-Dyna, ANSYS Mechanical, ANSYS Multiphysics,….)

يسمح برنامج ANSYS لمستخدميه القيام بالعديد من المهمات نذكر منها:

1- بناء نماذج معقدة من المنشآت أو نقلها من برامج أخرى إلى بيئته.
2- تطبيق كافة أشكال وحالات التحميل.
3- دراسة الاستجابات الفيزيائية (مستوى الإجهاد، توزع الحرارة، توزع الحقول الكهرومغناطيسية،....) للعديد من العناصر والمنشآت.
4- دراسة الشكل والتصميم الأمثل للعديد من العناصر والمنشآت (مقاطع، طائرات، سيارات،...).

ويتوفر ضمن هذا البرنامج ستة أنواع للتحليل الإنشائي حيث يتم حساب انتقالات عقد العناصر ثم اشتقاق التشوهات والإجهادات وردود الأفعال منها، هذه الأنواع هي:

- التحليل الستاتيكي (Static Analysis)
- التحليل التوافقي (Harmonic Analysis)
- التحليل النمطي (Modal Analysis)
- التحليل الديناميكي العابر (Transient Dynamic Analysis)
- التحليل الطيفي (Spectrum Analysis)
- تحليل الاستقرار (Buckling Analysis)

وقد تم اعتماد التحليل الستاتيكي في دراستنا.

2-3-2- المراحل الأساسية في عملية النمذجة بـ (FEM):

يمكن تقسيم التحليل بطريق العناصر المنتهية إلى ثلاث مراحل أساسية وهـي مرحلة مـا قبـل التحليل، مرحلة التحليل، مرحلة ما بعد التحليل.

- **مرحلة ما قبل التحليل (Pre-processor phase) :**

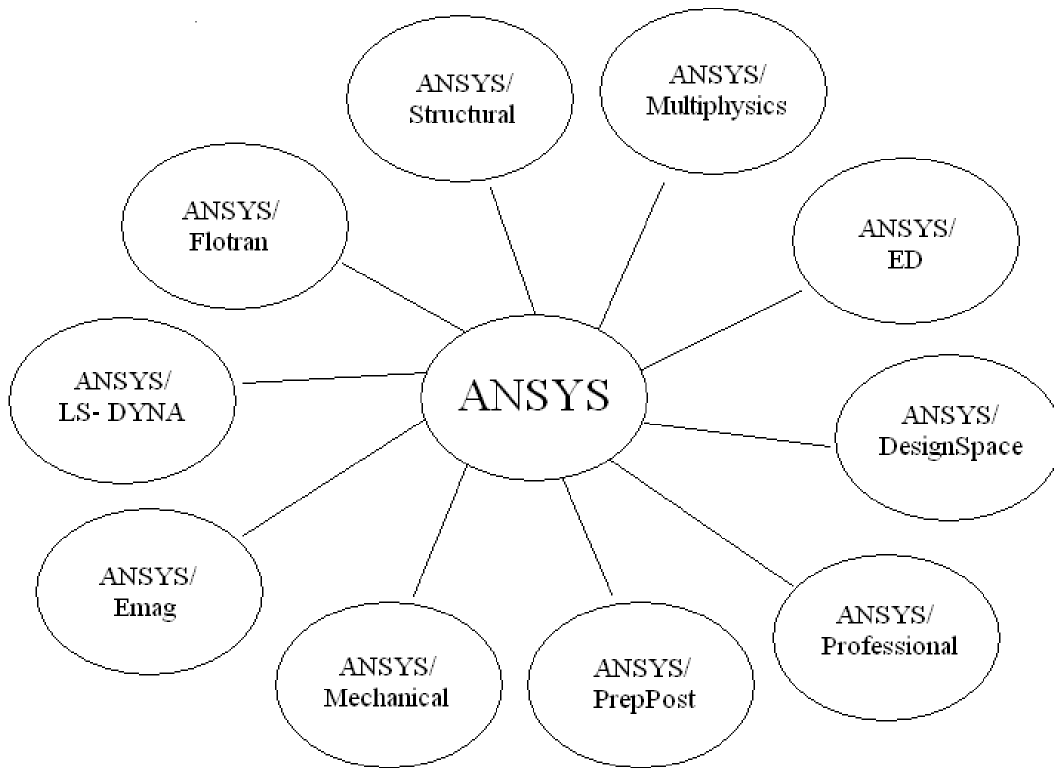
تتضمن هذه المرحلة تحديد نوع التحليـل (Analyses Type)، والشـكل الهندسـي للمنشـأة (Geometry)، ونوع العناصر المنتهيـة المعتمـدة للنمذجـة (2D,3D)، خـواص المـواد المستخدمة، ومن ثم تجزئة المنشأة إلى عناصر منتهية وإنشاء الشبكة (Meshing).

- **مرحلة التحليل (solution phase):**

وتتضمن تحديد الحمولات المؤثرة على عناصر المنشأة ونوعها ومواقع تطبيقها، كما يتضـمن تحديد الشروط الطرفية للمنشأة مع الأخذ بالحسبان تناظر المنشأة، وقبل البدء بعمليـة التحليـل يجب تحديد الثوابت اللازمة للتحليل حسب نوعه (خطي أو لاخطي).

- **مرحلة ما بعد التحليل (Post-processor phase):**

وتسمى مرحلة إظهار النتائج وفيها يمكن طباعة شكل تشوه المنشأة، ردود الأفعـال، انتقـالات العقد، كونتورات الإجهادات والتشوهات وغيرها.



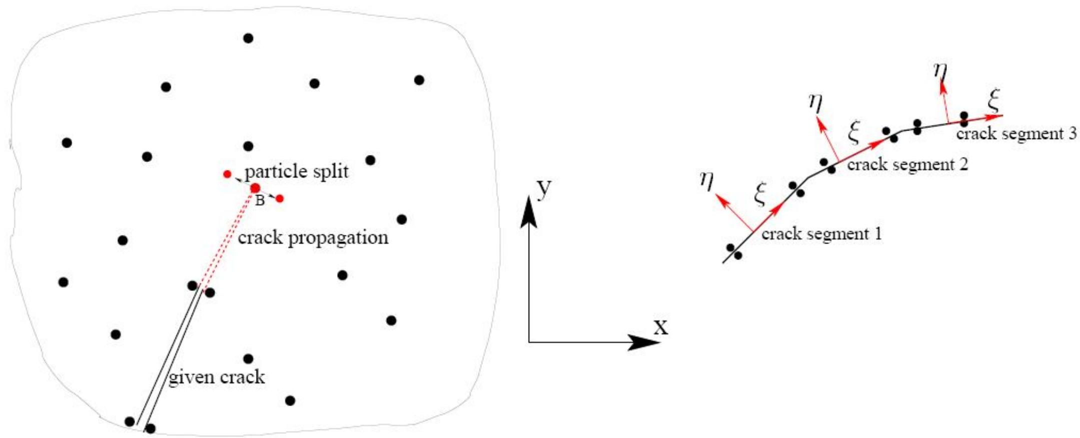
الشكل(2-4): النسخ المتوفرة من برنامج ANSYS.

2-3-3- نمذجة العناصر الإنشائية البيتونية باستخدام طريقة العناصر المنتهية (FEM):

تعتبر نمذجة البيتون المسلّح مهمة صعبة نسبياً، بسبب عدم تجانسه وسلوكه اللاخطي بعد تشققه، بالإضافة إلى مهمة نمذجة فولاذ التسليح ضمن العنصر البيتوني والعلاقة بينهما، وتعتبر طريقة العناصر المنتهية طريقة هامة لمحاكاة هذا السلوك، حيث يمكن تمييز أسلوبين لنمذجة البيتون بطريقة العناصر المنتهية:

1- طريقة الشق المنفصل (Discrete Crack Approach) [24]:

وفيها يتم استخدام عناصر ربط أو عناصر خطية لنمذجة الشقوق ذات المواقع المعروفة، ويتغير الشكل الهندسي (topology) للنموذج بازدياد الحمولة (ظهور التشققات) مما يحد من سهولة وسرعة تحليل العناصر، بالإضافة إلى الصعوبة الكامنة في بداية التحليل حيث يكون موقع الشق غير معروف ويبين الشكل(2-5) هذه الطريقة.

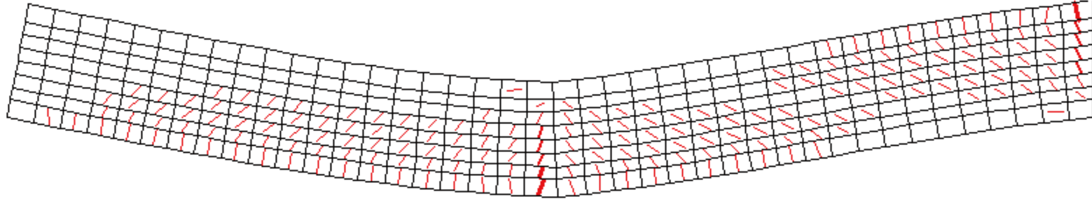


الشكل(2-5): نمذجة عنصر بيتوني بطريقة الشق المنفصل [24].

2- طريقة الشق اللزج (Smeared Crack Approach) [18]:

وفيه يتم نمذجة التشقق كتغير في خصائص العنصر، حيث يعتبر العنصر مستمراً في بداية التحليل (يعتبر مادة متماثلة الخواص (Isotropic))، ويتحول إلى مادة غير متماثلة الخواص (Orthotropic) تدريجياً مع زيادة الحمولة، وبالتالي ظهور التشققات (أو تعرض البيتون للانهيار)، حيث يتشقق العنصر عند تجاوز إجهاد الشد الرئيسي مقاومة الشد الفعلية للعنصر، وبالتالي تعطى قيمة الصفر لعامل مرونة المادة في الاتجاه الموازي لإجهاد الشد الرئيسي، ويبين الشكل(2-6) عنصراً بيتونياً تمت نمذجته بهذه الطريقة.

وقد تم اعتماد طريقة الشق اللزج في نمذجة البيتون المسلّح ضمن دراستنا.



الشكل(2-6): نمذجة عنصر بيتوني بطريقة الشق اللزج [18].

2-4- نمذجة العناصر الإنشائية (Modeling of Structural Elements):

تمت نمذجة الوصلات البيتونية المسلّحة باستخدام برنامج (ANSYS 11) ، حيث تمت نمذجة البيتون وفولاذ التسليح وصفائح التحميل باستخدام العناصر التي يوفرها هذا البرنامج.

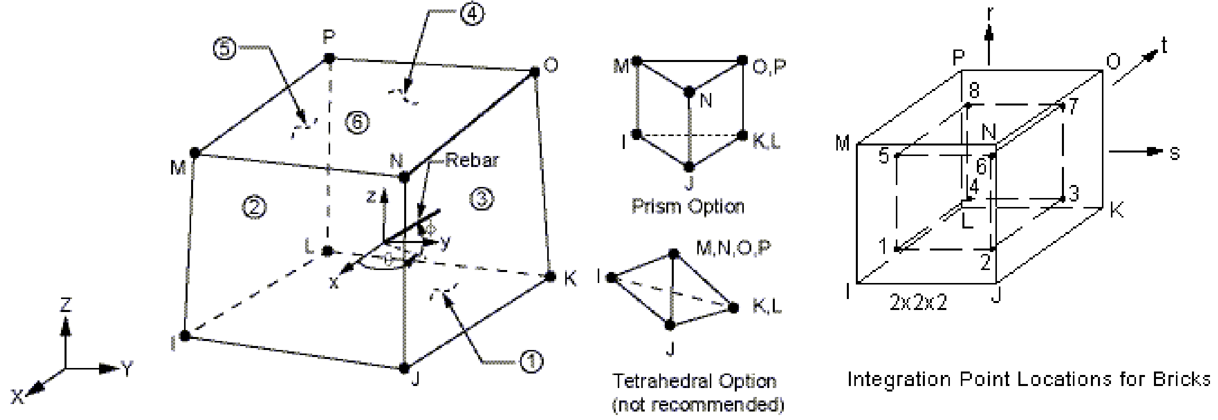
2-4-1- نمذجة البيتون المسلّح:

تمت نمذجة البيتون في برنامج ANSYS باستخدام العنصر اللاخطي الحجمي (Solid65) حيث يعتمد على الفرضيات الآتية [4]:

- يستخدم عنصر (SOLID65) مع أو بدون تسليح وذلك تبعاً للإدخالات.
- تعتبر مادة العنصر متماثلة الخواص (isotropic) مع قابليتها للتشقق والانهيار.
- العنصر (SOLID65) يتألف من 8 عقد تمتلك كل عقدة ثلاث درجات حرية هي الانتقالات باتجاه المحاور الثلاثة.
- وكل عنصر يمتلك ثمان نقاط تكاملية تستخدم في إجراء تكامل غوص الشكل(2-7).
- توجد أربع مواد مختلفة ضمن العنصر، المادة الأولى هي مادة البيتون والثلاث الباقية هي خصائص قضبان التسليح بالاتجاهات الثلاثة (في حال استعملت يتم التعبير عنها بالخيار (rebar)).
- يمكن من خلال هذا العنصر نمذجة السلوك الخطي واللاخطي للبيتون.

2-4-1-1- العنصر الحجمي Solid65:

يبين الشكل(2-7) هذا العنصر.



الشكل(2–7): العنصر الحجمي (Solid65) المعتمد لنمذجة البيتون ونقاطه التكاملية.

تعطى مصفوفة (الإجهاد– تشوه) لهذا العنصر بالعلاقة الآتية:

$$[D] = \left(1 - \sum_{i=1}^{N_r} V_i^R\right)[D^c] + \sum_{i=1}^{N_r} V_i^R [D^r]_i \qquad (1\text{-}2)$$

حيث:

N_r : اتجاهات تواجد التسليح وقيمته العظمى 3.

V_i^R : نسبة التسليح الحجمية ضمن العنصر أي (حجم التسليح/ حجم العنصر).

$[D^c]$: مصفوفة (إجهاد– تشوه) لعنصر البيتون فقط.

$[D^r]$: مصفوفة (إجهاد– تشوه) لفولاذ التسليح فقط.

- في حالة السلوك الخطي للبيتون:

يسلك البيتون سلوكاً خطياً حتى 30% من المقاومة المميزة على الضغط، وتعطى المصفوفة $[D^c]$ بالعلاقة الآتية:

$$[D^c] = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} (1-\nu) & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & (1-\nu) & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & (1-\nu) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{(1-2\nu)}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{(1-2\nu)}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{(1-2\nu)}{2} \end{bmatrix} \quad (2-2)$$

حيث:

E : عامل مرونة البيتون.

υ : نسبة بواسون للبيتون.

- في حالة السلوك اللاخطي للبيتون:

يعود السلوك اللاخطي للبيتون لتعرضه للتشقق، الانهيار، أو الزحف والتلدن وبالتالي تعدّل مصفوفة (إجهاد- تشوه) حسب الحالات الآتية:

❖ يعبر عن وجود شق في نقطة تكاملية بتغير علاقات (إجهاد- تشوه) وذلك بتخفيض مقاومة القص في مستوى الشق، وبفرض معامل تخفيض القص β_t (الثابت C_1 في إدخالات البرنامج)، وتتحول المصفوفة $[D^c]$ إلى المصفوفة $[D_c^{ck}]$ التي تعطي بالعلاقة الآتية:

$$[D_c^{ck}] = \frac{E}{(1+\nu)} \begin{bmatrix} \frac{R^t(1+\nu)}{E} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{1-\nu} & \frac{\nu}{1-\nu} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\nu}{1-\nu} & \frac{1}{1-\nu} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\beta_t}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\beta_t}{2} \end{bmatrix} \quad (3-2)$$

ويدل الرمز (CK) أن علاقة (إجهاد- تشوه) هي بالنسبة لنظام إحداثيات موازٍ لاتجاهات الإجهادات الرئيسية والمحور (x^{ck}) متعامد مع وجه الشد.

ويعبر العامل (R^t) عن التخفيض التدريجي في إجهادات الشد بعد التشقق.

❖ إذا كان الشق مغلقاً فإن الإجهادات الضاغطة تنتقل عبر سطوح الشق ويعبر عن هـذا بعامـل نقل القص (β_c) (الثابت C_2 في البرنامج) الذي يعبر عن تشابك الحصـويات وفعـل الـدويل (Dowel Action) (آلية نقل القص عبر الشقوق)، وتصبح المصفوفة $[D_c^{ck}]$ كما يلي:

$$[D_c^{ck}] = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} (1-\nu) & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \beta_c \frac{(1-2\nu)}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{(1-2\nu)}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \beta_c \frac{(1-2\nu)}{2} \end{bmatrix} \quad (4\text{-}2)$$

❖ وإذا كان التشقق بالاتجاهين تصبح المصفوفة $[D_c^{ck}]$ كما يلي:

$$[D_c^{ck}] = E \begin{bmatrix} \frac{R^t}{E} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{R^t}{E} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\beta_t}{2(1+\nu)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\beta_t}{2(1+\nu)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\beta_t}{2(1+\nu)} \end{bmatrix} \quad (5\text{-}2)$$

❖ وإذا كان الشقين مغلقين تصبح المصفوفة $[D_c^{ck}]$ كما يلي:

$$[D_c^{ck}] = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} (1-\nu) & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \beta_c \frac{(1-2\nu)}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{(1-2\nu)}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \beta_c \frac{(1-2\nu)}{2} \end{bmatrix} \quad (6\text{-}2)$$

❖ وفي حالة التشقق بالاتجاهات الثلاثة تصبح المصفوفة كما يلي:

$$[D_c^{ck}] = E\begin{bmatrix} \frac{R^t}{E} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{R^t}{E} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\beta_t}{2(1+\nu)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\beta_t}{2(1+\nu)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\beta_t}{2(1+\nu)} \end{bmatrix} \quad (7-2)$$

❖ أما في حالة الشقوق الثلاثة مغلقة تصبح المصفوفة كما في حالة الشقين مغلقين (العلاقــة -6) .(2)

وتتعلق حالة الشق (مغلق أو مفتوح) بقيمة تشوهه (ε_{ck}^{ck}) الذي يعطي كما يلي:

$$\varepsilon_{ck}^{ck} = \begin{cases} \varepsilon_x^{ck} + \frac{\nu}{1-\nu}\varepsilon_y^{ck} + \varepsilon_z^{ck} & \text{حالة تشقق باتجاه المحور X} \\ \varepsilon_x^{ck} + \nu\varepsilon_z^{ck} & \text{حالة تشقق باتجاه المحور Y} \\ \varepsilon_x^{ck} & \text{حالة تشقق باتجاه المحور Y,Z} \end{cases} \quad (8-2)$$

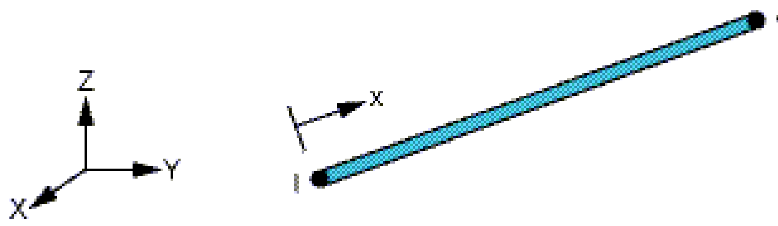
حيث ε_x^{ck}، ε_y^{ck}، ε_z^{ck} ، التشوهات باتجاه الشق.

إذا كان (ε_{ck}^{ck}) أقل من الصفر يعتبر الشق مغلقاً، أما إذا كان (ε_{ck}^{ck}) أكبر أو يساوي الصفر فيعتبر الشق مفتوحاً.

2-4-2- نمذجة فولاذ التسليح:

تمت نمذجة فولاذ التسليح كعنصر خطي (Link8) يشترك مع البيتون بنفس العقد وبالتالي فإن ارتباطه معه تام [4].

وهو عنصر شبكي فراغي يستخدم في نمذجة العناصر الشبكية والكبلات والروابط، يتألف هذا العنصر من عقدتين (i,j) وتمتلك كل عقدة ثلاث درجات حرية وهي الانتقالات في اتجاهات المحاور الثلاثة (U_x, U_y, U_z)، ويبين الشكل(2-8) هذا العنصر، ويعتبر عنصر شد – ضغط محوري، يتم تعريف مقطع العنصر، التشوه البدئي، وخصائص المادة.



الشكل(2–8): العنصر الخطي (Link8) المستخدم لنمذجة فولاذ التسليح.

وتعطى مصفوفة الصلابة $[K_e]$ لهذا العنصر بالنسبة لمحاوره الخاصة بالعلاقة الآتية:

$$[K_\ell] = \frac{AE_s}{L} \left[\begin{array}{ccc|ccc} 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array}\right] \qquad (9-2)$$

حيث:

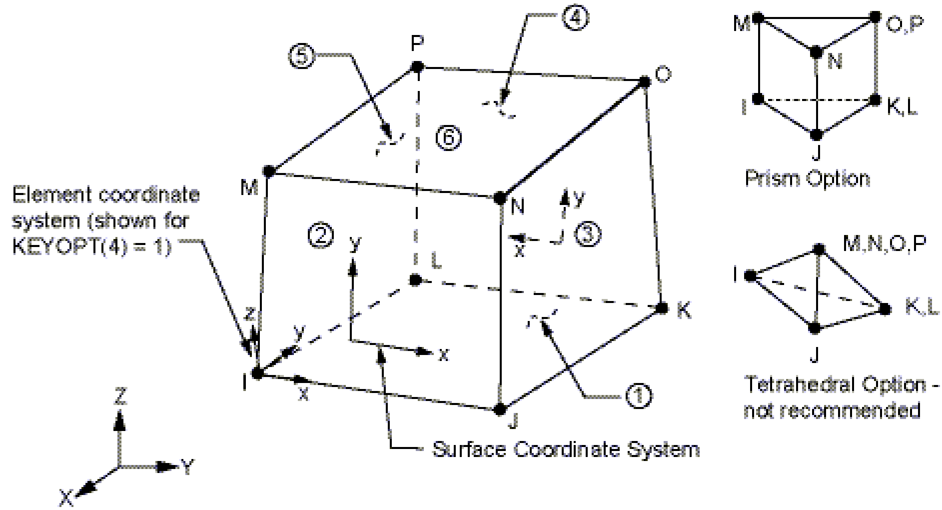
A : مساحة المقطع العرضي للعنصر.

E_s : عامل مرونة فولاذ التسليح.

L : طول العنصر.

2–4–3– نمذجة صفائح التحميل:

تمت نمذجة صفائح التحميل باستخدام العنصر الحجمي (Solid45)، يتألف هذا العنصر من ثمان عقد وتمتلك كل عقدة ثلاث درجات حرية وهي الانتقالات في اتجاهات المحاور الثلاثة(U_x, U_y, U_z)، كما يبينه الشكل(2–9)، يتمتع هذا العنصر بخاصية التلدن، الزحف، التشوهات الكبيرة، والانتقالات الكبيرة [4].



الشكل(2-9): العنصر الحجمي (Solid45)، المعتمد لنمذجة صفيحة التحميل.

2-5- البرنامج التحليلي (Analytical Program):

لقد تمت نمذجة ثلاث عينات (C_1, C_2, C_3) من البرنامج التجريبي المختار باستخدام برنامج ANSYS وطُبق تابع التحميل نفسه المستخدم في التجارب المخبرية والهدف هو دراسة سلوك وصلات جائز- عمود طرفية تحت تأثير ما يلي:

1- حمولة محورية مطبقة على العمود.

2- تطويق العقدة بواسطة الأساور.

2-5-1- إدخال خصائص المواد وفق برنامج ANSYS:

2-5-1-1- البيتون:

يحتاج برنامج ANSYS لخصائص البيتون الآتية لنمذجة سلوك عنصر بيتوني:

E_c : عامل مرونة البيتون.

f'_c : المقاومة المميزة للبيتون على الضغط.

f_t: مقاومة البيتون على الشد.

υ : نسبة بواسون.

β_t: معامل نقل القص عبر الشقوق المفتوحة.

β_c : معامل نقل القص عبر الشقوق المغلقة.

إضافة إلى علاقة (إجهاد– تشوه) للبيتون في حالة الضغط.

يلخص الجدول(2–1) خصائص البيتون كما تم إدخالها في برنامج التحليل ANSYS.

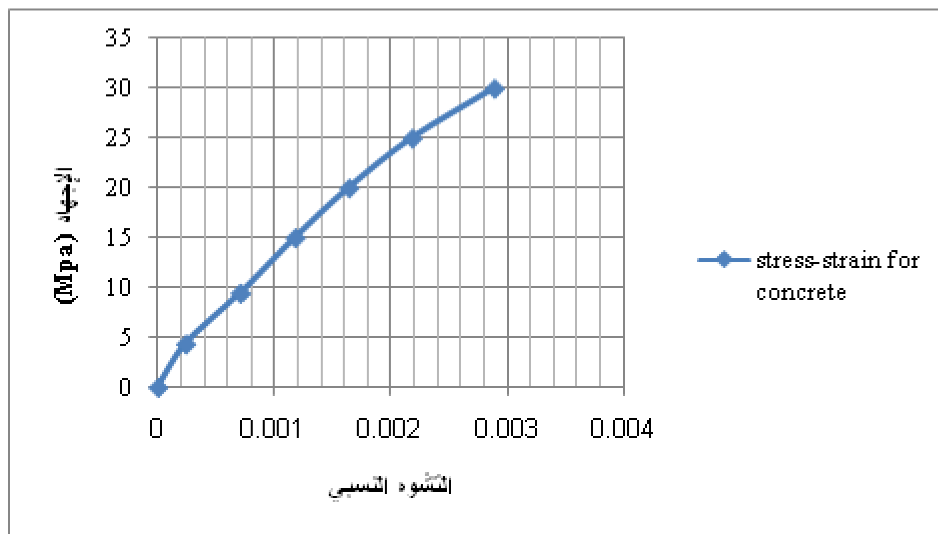
الجدول (2–1): خصائص البيتون المدخلة في برنامج التحليل ANSYS

E_c (Mpa)	f_c' (Mpa)	f_t (Mpa)	υ	[4] β_t	[4] β_c
18125	30	3.412	0.2	0.2	0.8

أما علاقة (إجهاد– تشوه) للبيتون (ضغط إحادي) المدخلة في برنامج ANSYS فتعطى بالجدول(2–2).

الجدول(2–2): نقاط منحني (إجهاد– تشوه) للبيتون المدخلة ضمن برنامج ANSYS [7].

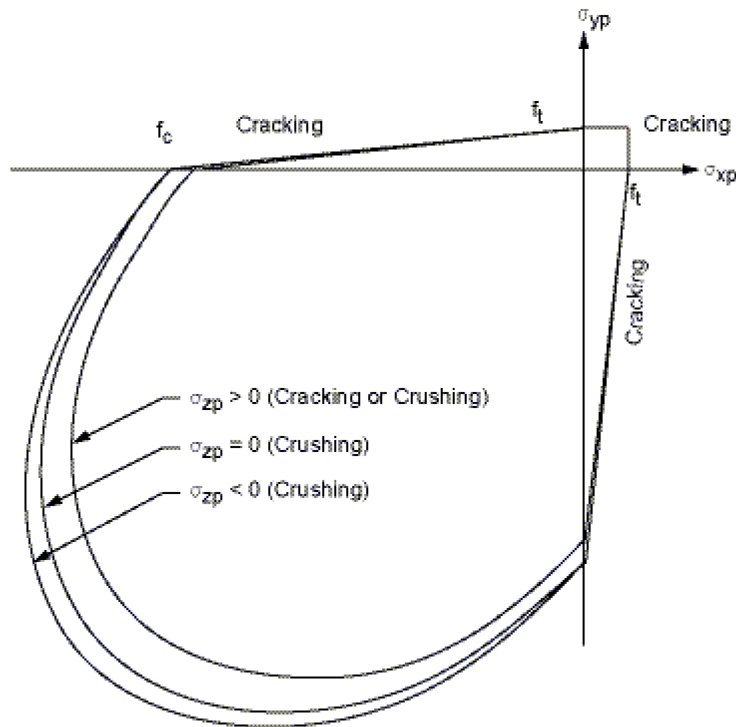
σ (MPa)	ε	النقطة
4.35	0.00024	1
9.44	0.000709	2
15	0.001178	3
20	0.001642	4
25	0.002187	5
30	0.002896	6



الشكل(2–10): المنحني المبسط (إجهاد– تشوه) للبيتون [7].

من المعروف أن انهيار البيتون يحدث نتيجة تجاوز الإجهادات الضاغطة المؤثرة لقيمة المقاومة المميزة للبيتون أو تجاوز الإجهادات الشادة لمقاومة البيتون على الشد، لذلك سنحتاج إلى إدخال مقاومة البيتون على الضغط والشد لتحديد سطح انهياره [4].

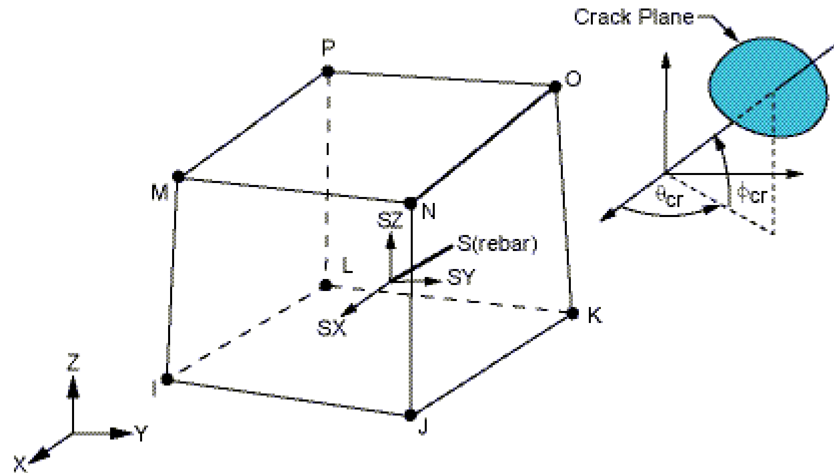
يوضح الشكل(2−11) سطوح الانهيار للبيتون حيث تظهر ثلاثة سطوح انهيار كمسقط في المستوي $(\sigma_{xp} - \sigma_{yp})$ ، وشكل الانهيار هو تابع لإشارة الإجهاد الرئيسي باتجاه Z أي σ_{zp} ، على سبيل المثال إذا كان σ_{yp} و σ_{xp} سالبان (ضغط) وكان σ_{zp} موجباً بقيمة قليلة (شد) فإن التشقق (Cracking) سيكون باتجاه متعامد مع σ_{zp} ولكن إذا كان $\sigma_{zp} = 0$ أو سالب قليلاً فإن البيتون سيتعرض للانهيار (Crushing) [4].



الشكل(2−11): سطوح انهيار البيتون وفق ANSYS [4].

يتشقق العنصر البيتوني عندما يتوضع إجهاد الشد الرئيسي في أي اتجاه خارج سطح الانهيار، وبعد التشقق فإن عامل مرونة العنصر البيتوني يصبح معدوماً في الاتجاه الموازي لاتجاه الشد الرئيسي، والشكل(2−12) يبين مستوي التشقق واتجاهه في العنصر البيتوني (Solid65).

يحدث الانهيار (Crushing) في العنصر البيتوني (Solid65) عندما تكون كل الإجهادات الرئيسية ضاغطة (سالبة) وتتوضع خارج سطح الانهيار، وبالتالي يعطى عامل مرونة البيتون قيمة الصفر في كافة الاتجاهات، ويلغى تأثير العنصر المنتهي [4].



الشكل(2-12): مستوي الشق واتجاهه في العنصر (Solid65).

لاحظنا خلال هذه الدراسة أنه إذا تم تفعيل إمكانية تحطم البيتون ضمن البرنامج، تظهر مشاكل عدم تقارب الحل اللاخطي، ويبدأ البيتون الواقع مباشرة تحت الحمولات بالتحطم ومن ثم يبدأ البيتون المجاور بالانهيار بالخطوات اللاحقة للحمولة وبالتالي تنخفض الصلابة المحلية وتظهر انتقالات كبيرة ويتباعد الحل (مشكلة عدم تقارب)، وبالتالي تم تعطيل إمكانية تحطم البيتون في نموذج العناصر المنتهية، وهذا يتوافق مع توصيات استخدام العنصر (Solid65) في برنامج ANSYS [4].

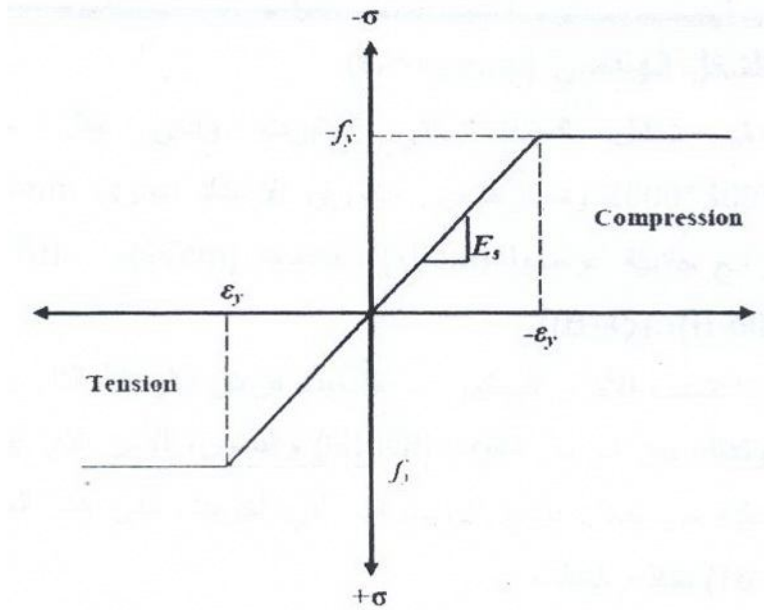
2-5-1-2- فولاذ التسليح (الطولي والعرضي):

تمت نمذجة فولاذ التسليح كمادة (مرنة- تامة اللدونة) عند التعرض لقوى شادة أو ضاغطة باستخدام العنصر (Link8)، ويظهر الشكل (2-13) علاقة (إجهاد- تشوه) المستخدمة لفولاذ التسليح في هذه الدراسة، أما خواص فولاذ التسليح الطولي والعرضي هي:

- عامل مرونة فولاذ التسليح $E_s = 200000$ MPa .
- نسبة بواسون $\upsilon = 0.3$.
- إجهاد الخضوع للفولاذ المستخدم مبين في الجدول(2-3).

الجدول(2-3): إجهاد الخضوع للفولاذ المستخدم [7].

القضيب	f_y(MPa)
Φ6	283
Φ16	388.8
Φ19	389.5



الشكل(2−13): منحني (إجهاد− تشوه) لفولاذ التسليح.

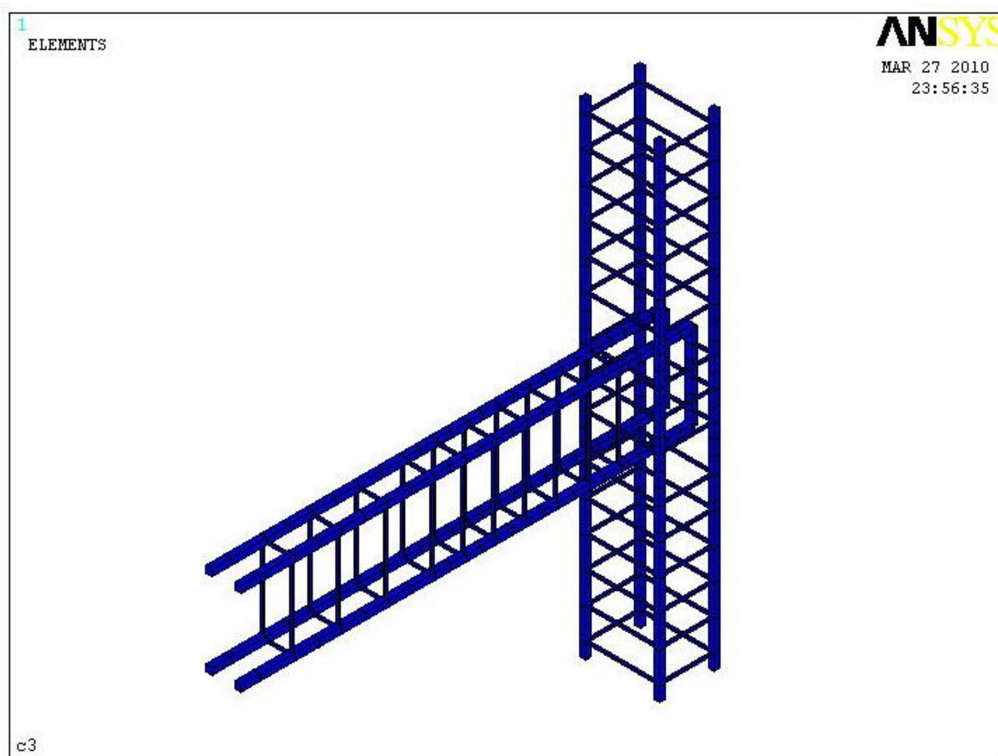
2−5−1−3− صفائح التحميل:

تمت نمذجة صفائح التحميل باعتبارها صفائح معدنية وذلك لتأمين توزع أفضل للإجهادات على منطقة التحميل، حيث اعتبرنا:

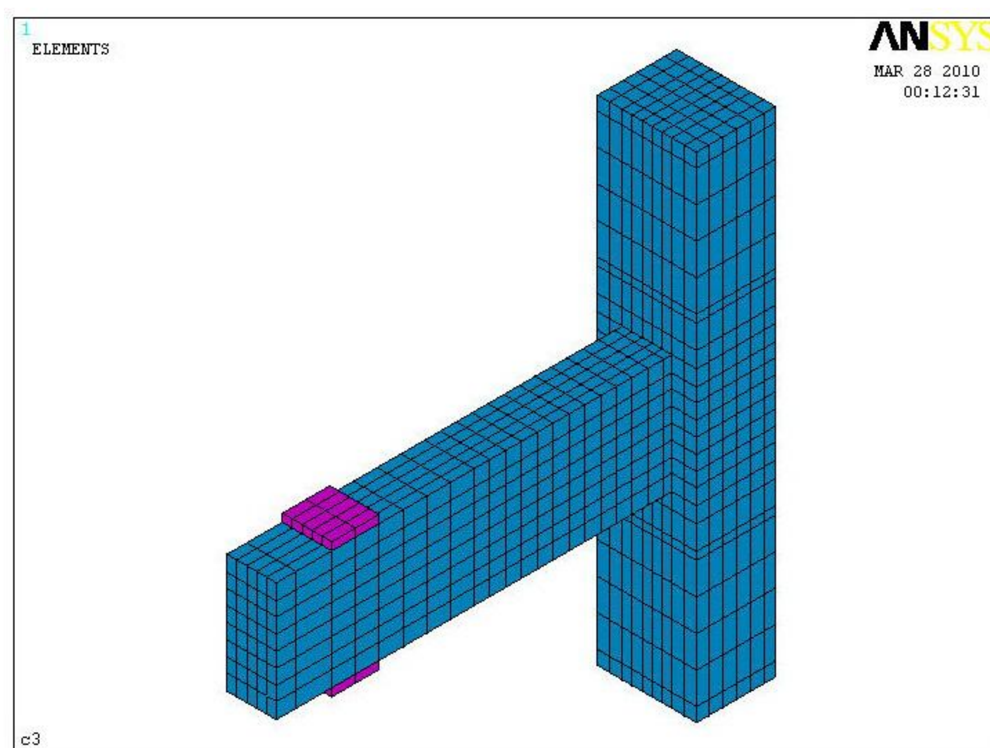
- عامل مرونة فولاذ الصفيحة $E_s = 200000$ MPa .
- نسبة بواسون $\upsilon = 0.3$.

2−5−2− نمذجة الشكل الهندسي:

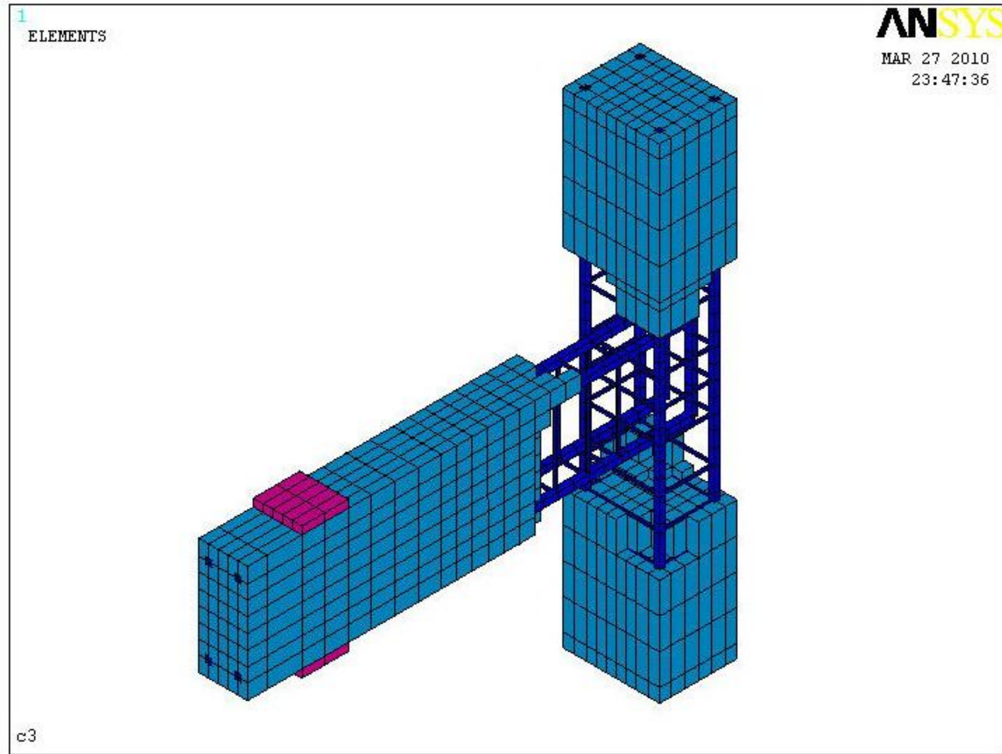
في البداية تمت نمذجة الهيكل المعدني المؤلف من أساور العمود والجائز والقضبان الطولية للعمود والجائز كما في الشكل(2−14)، وبعدها تمت نمذجة بيتون الوصلات وصفائح التحميل كما في الشكل(2−15)، مع تحقيق الارتباط التام بين فولاذ التسليح والبيتون من خلال اشتراكهم بنفس العقد (Nodes)، ويوضح الشكل (2−16) ارتباط فولاذ التسليح مع البيتون في الوصلات.



الشكل(2−14): الهيكل المعدني ضمن بيئة ANSYS.



الشكل(2−15): الهيكل البيتوني وصفائح التحميل.



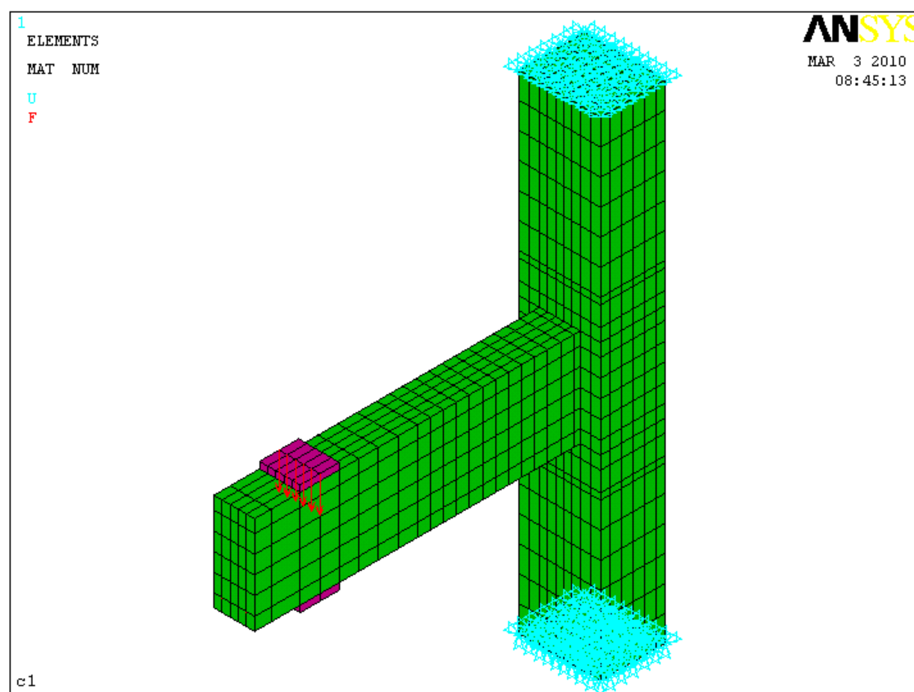
الشكل(2−16): النموذج النهائي ضمن بيئة ANSYS.

2−5−3− تقسيم النموذج إلى عناصر (Meshing):

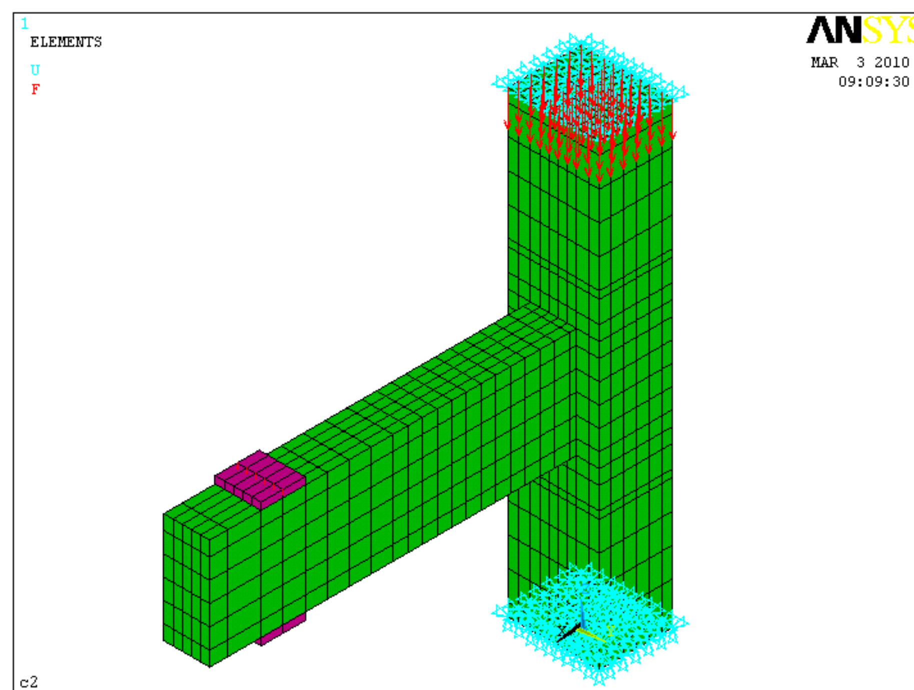
تم تقسيم النموذج في طريقة العناصر المنتهية إلى عدد من العناصر الصغيرة (Finite Elements) ، وبعد تطبيق الحمولات تُحسب التشوهات والإجهادات عند النقط التكاملية لهذه العناصر، وتعتبر عملية تقطيع النموذج (Meshing) خطوة هامة للحصول على نتائج دقيقة، حيث تتعلق دقة هذه النتائج بكثافة الشبكة لذلك قمنا بزيادة كثافة الشبكة إلى المرحلة التي لم تعد زيادتها تؤثر بشكل واضح على نتائج التحليل، تبين الأشكال (2−17) و(2−18) و(2−19) نماذج الوصلات (C_3, C_2, C_1) على الترتيب، كما يبين الجدول (2−4) عدد العناصر المنتهية التي استخدمناها في كل نموذج وصلة جائز− عمود.

الجدول(2−4): عدد العناصر المنتهية المستخدمة في كل وصلة.

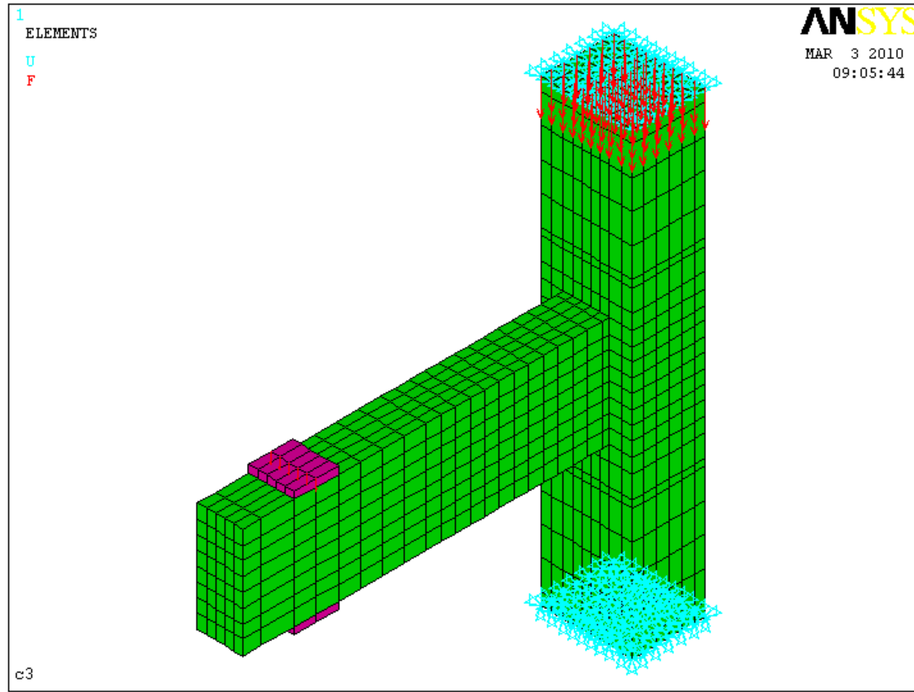
الوصلة	صفائح التحميل	فولاذ التسليح	البيتون	الإجمالي
C_1	20	304	1926	2250
C_2	20	288	1818	2126
C_3	20	312	2136	2468



الشكل(2−17): النموذج التحليلي للوصلة C_1.



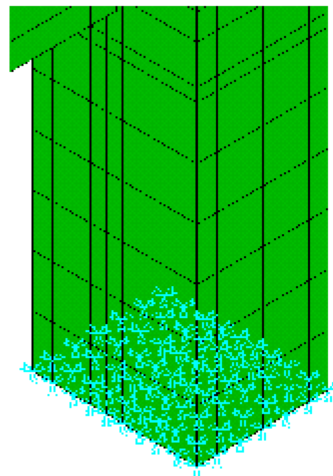
الشكل(2−18):النموذج التحليلي للوصلة C_2.



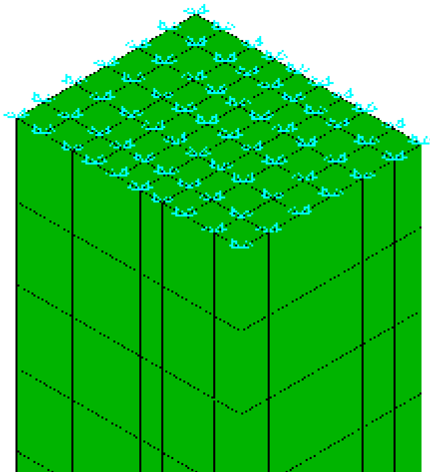
الشكل(2–19):النموذج التحليلي للوصلة C_3.

2–5–4– الشروط الطرفية للوصلات المنمذجة (المساند):

تم تقييد الوصلات من ناحية العمود السفلية بشكل كلي على الانتقال $(U_x, U_y, U_z = 0)$ كما في الشكل(2–20)، أما ناحية العمود العلوية فقد تم تقييدها على الانزياحات الجانبية مع السماح بإمكانية الانتقال الشاقولي$(U_x, U_y = 0)$ كما في الشكل(2–20).



التقييد من الناحية السفلية للعمود (b)

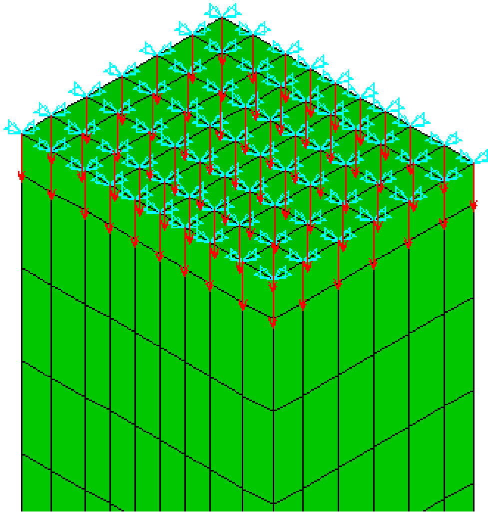


التقييد من الناحية العلوية للعمود (a)

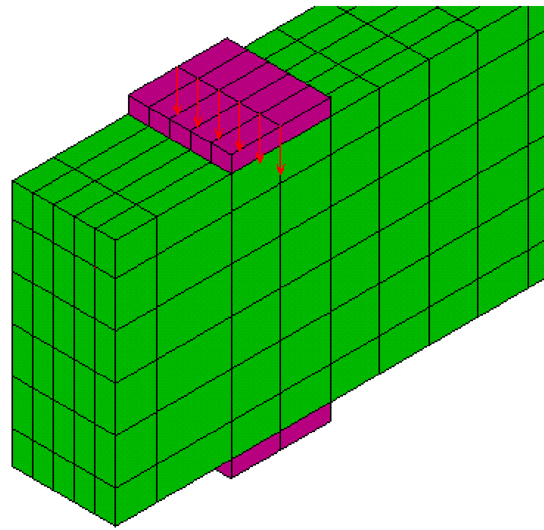
الشكل(2–20): الشروط الطرفية (المساند) المطبقة على نموذج الوصلات.

2-5-5- تطبيق الحمولات على الوصلات المنمذجة:

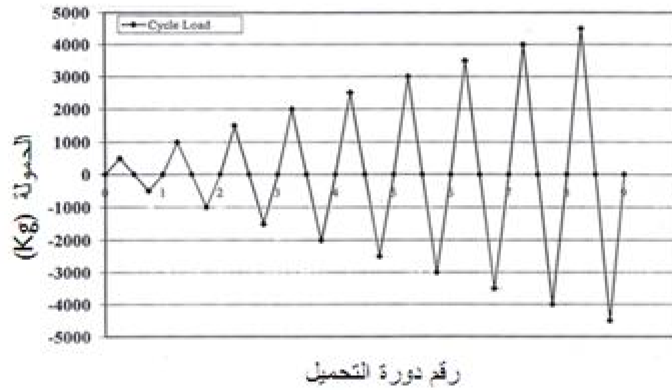
تتعرض الوصلات (C_2,C_3) إلى حمولة محورية ثابتة قيمتها (20ton) مطبقة أعلى العمود، يتم تطبيقها في برنامج ANSYS كما هو مبين في (الشكل(2-21)a)، كما تتعرض الوصلات (C_1,C_2,C_3) إلى حمولة دورية مطبقة على طرف الجائز كما في (الشكل(2-21)b).



الحمولة المحورية المطبقة أعلى العمود (a)



الحمولة الدورية المطبقة عند طرف الجائز (b)



تابع التحميل للحمولة الدورية (c)

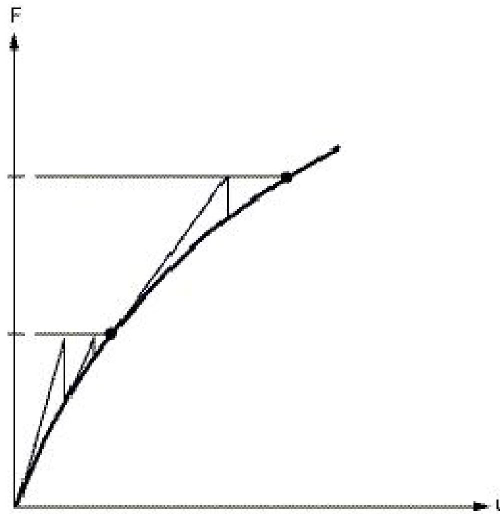
الشكل(2-21): الحمولات المطبقة على الوصلات وشكل تابع تحميل الحمولة الدورية.

2-5-6- التحليل اللاخطي للنموذج:

تم تطبيق الحمولات في النموذج اللاخطي بشكل متدرج، حيث قسمت الحمولة إلى عدة حمولات مرحلية تسمى خطوات الحمولة (Load Steps)، ويقوم البرنامج بتعديل مصفوفة صلابة النموذج بعد

كل خطوة تحميل لتعكس التغيرات اللاخطية على الصلابة الإنشائية للعنصر ثم الانتقال إلى خطوة الحمولة التالية، مستخدماً طريقة نيوتن- رافسون (Newton- Raphson) التكرارية لتعديل صلابة النموذج تبعاً للتغيرات اللاخطية الحاصلة. يستخدم نيوتن- رافسون المنهج التكراري التوازني للوصول إلى تقارب الحل عند نهاية كل خطوة تحميل ضمن حدود التحميل، ويبين الشكل(2-22) هذا المنهج بالنسبة لدرجة حرية واحدة في التحليل اللاخطي.

يقوم هذا المنهج على حساب شعاع قوى التوازن، وهو الفرق بين القوى الداخلية العائدة للإجهادات في العنصر والحمولات المطبقة، ثم التحقق من معيار تقارب الحل فإذا لم يتحقق هذا المعيار يعاد حساب قوى التوازن، وتعدل مصفوفة الصلابة، وينتقل إلى التكرار التالي وهكذا يستمر التكرار حتى تحقيق معيار التقارب [4].



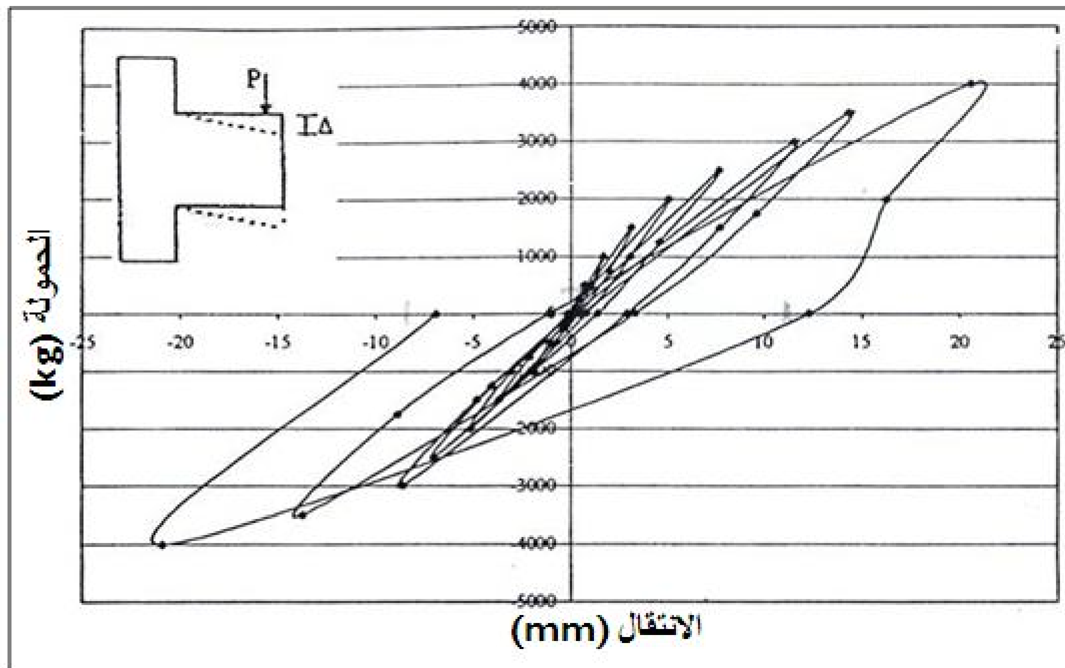
الشكل(2-22): طريقة نيوتن- رافسون لدرجة حرية واحدة [4].

2-6- التحقق من المحاكاة المعتمدة (Verification of Simulation):

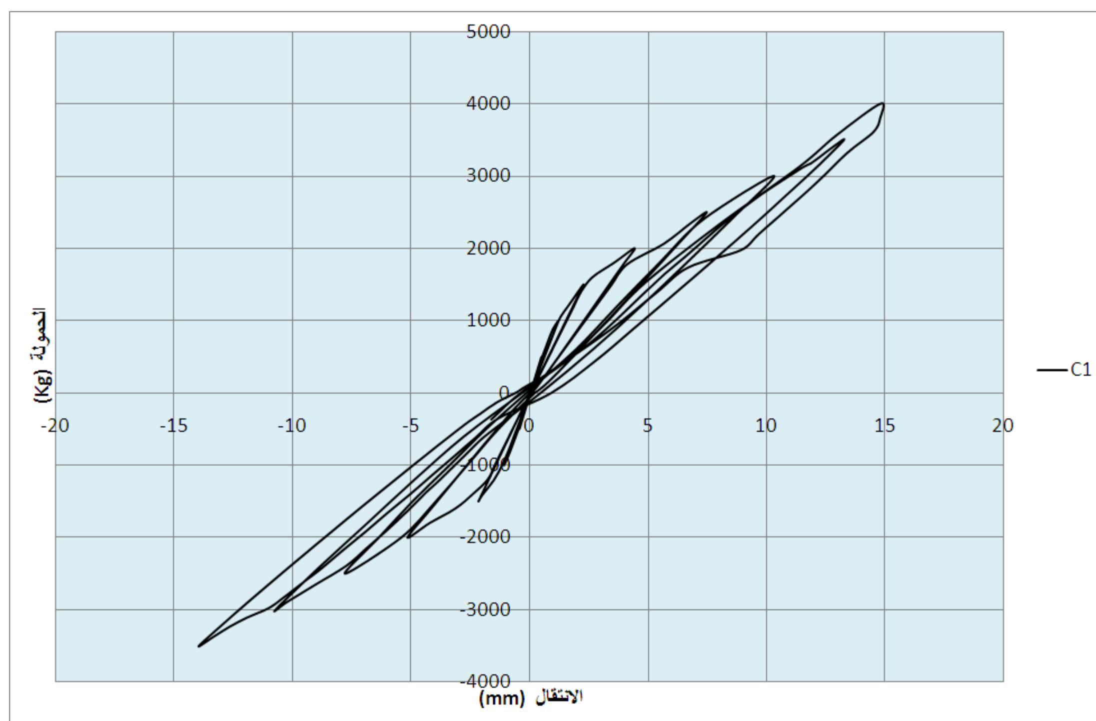
تم التحقق من فعالية المحاكاة لنماذج الوصلات الثلاثة المدروسة (C_1,C_2,C_3) عن طريق مقارنة النتائج التجريبية للعينات المختبرة في المخبر والنتائج التحليلية للنماذج المدروسة تحليلياً (ANSYS)، اعتمدت المقارنة هنا على الانتقال الحاصل في طرف الجائز والدوران الحاصل في العقدة.

يجب أن تكون النتائج التحليلية متناسبة ومنسجمة مع المظهر العام للسلوك، وبعد أن يتم التحقق من فعالية المحاكاة يمكن استخدام هذه النماذج في دراسة مظاهر سلوك أخرى للعقدة يصعب الحصول عليها تجريبياً، في هذا البحث تمت دراسة أنماط التشققات ، الانتقال، الدوران، والقص الحاصل في العقدة.

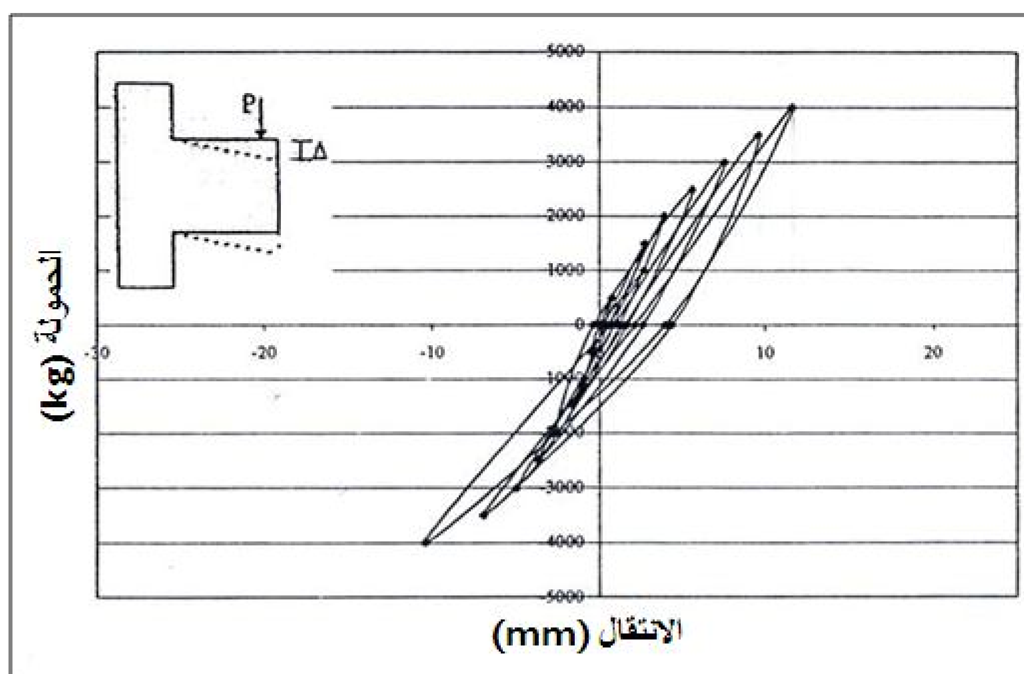
تعرض الأشكال الآتية المخططات التجريبية والتحليلية للانتقال والدوران للوصلات الثلاثة المدروسة.



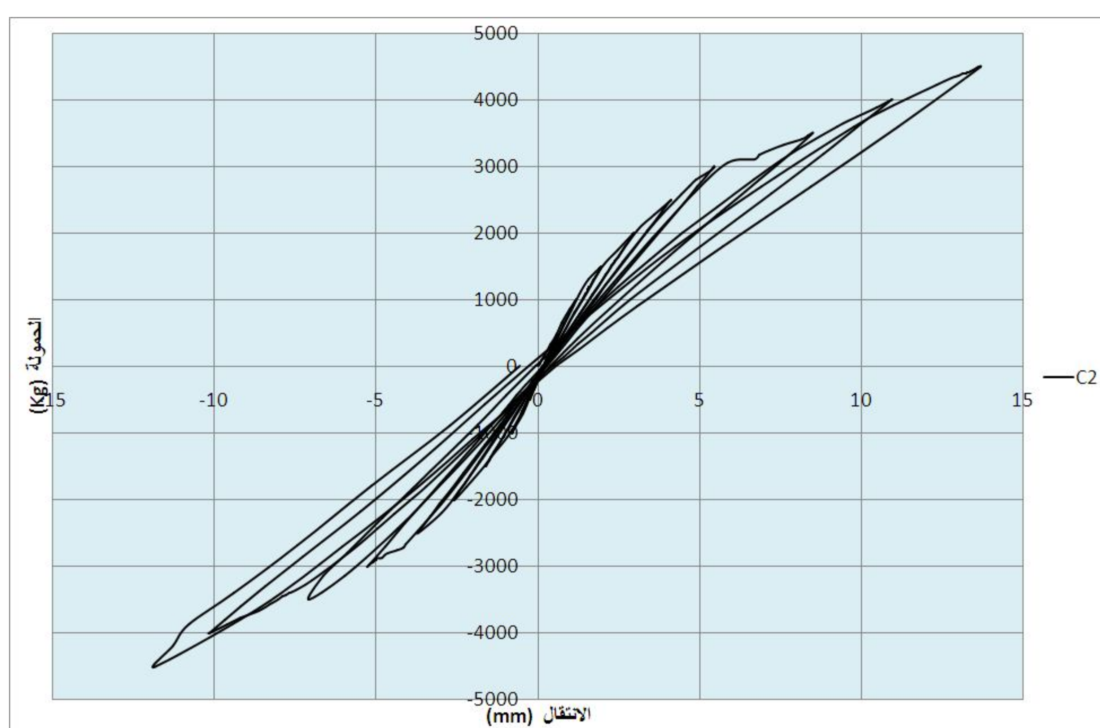
الشكل(2−23): علاقة (انتقال طرف الجائز – الحمولة) للوصلة (C1) تجريبياً [7].



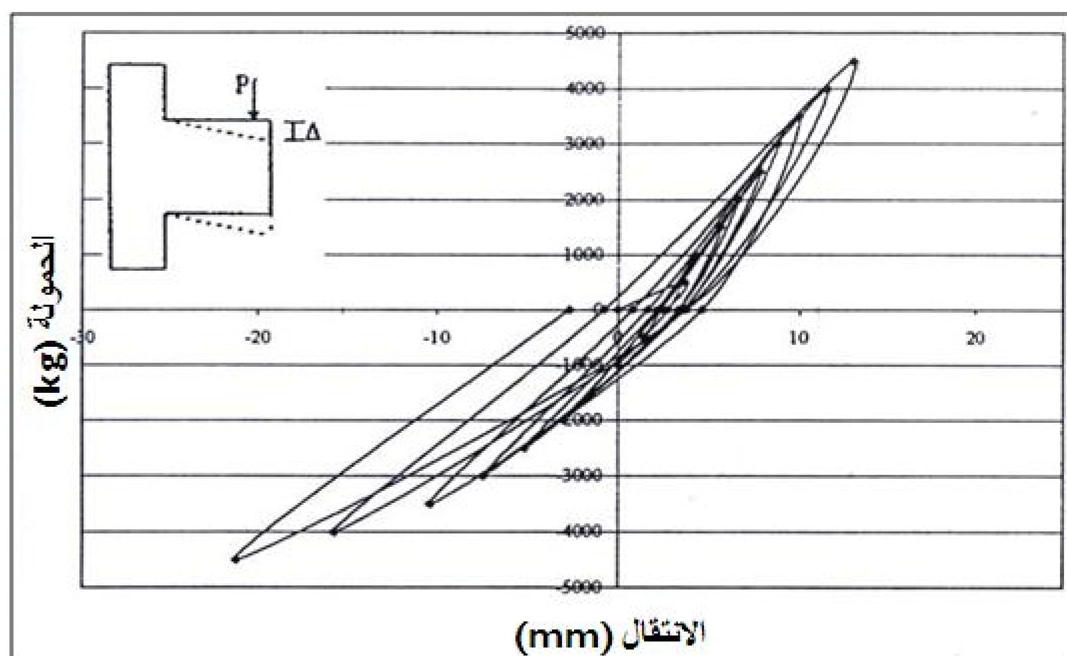
الشكل(2−24):علاقة (انتقال طرف الجائز – الحمولة) للوصلة (C1) تحليلياً (ANSYS).



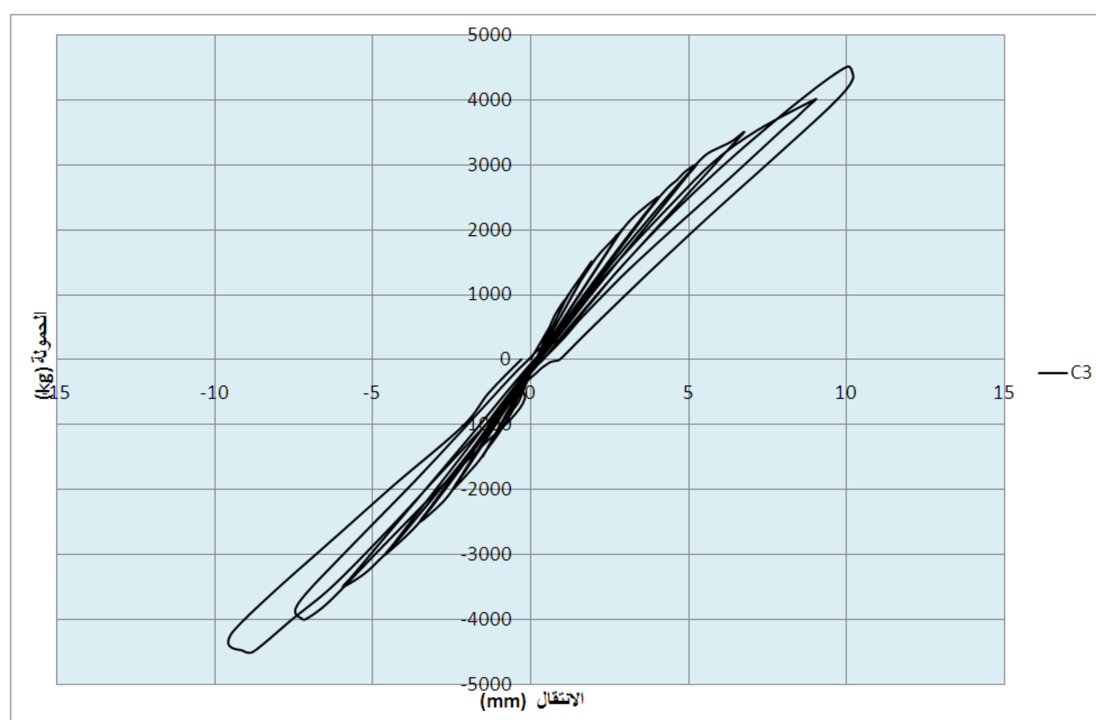
الشكل(2–25):علاقة (انتقال طرف الجائز – الحمولة) للوصلة (C2) تجريبياً [7].



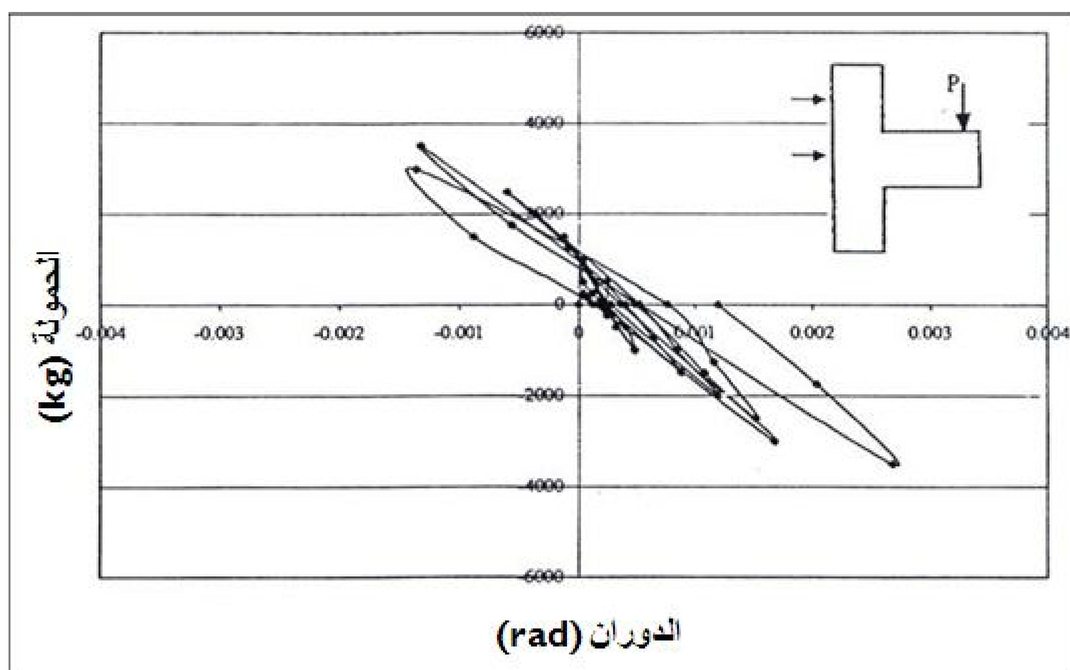
الشكل(2–26):علاقة (انتقال طرف الجائز – الحمولة) للوصلة (C2) تحليلياً (ANSYS).



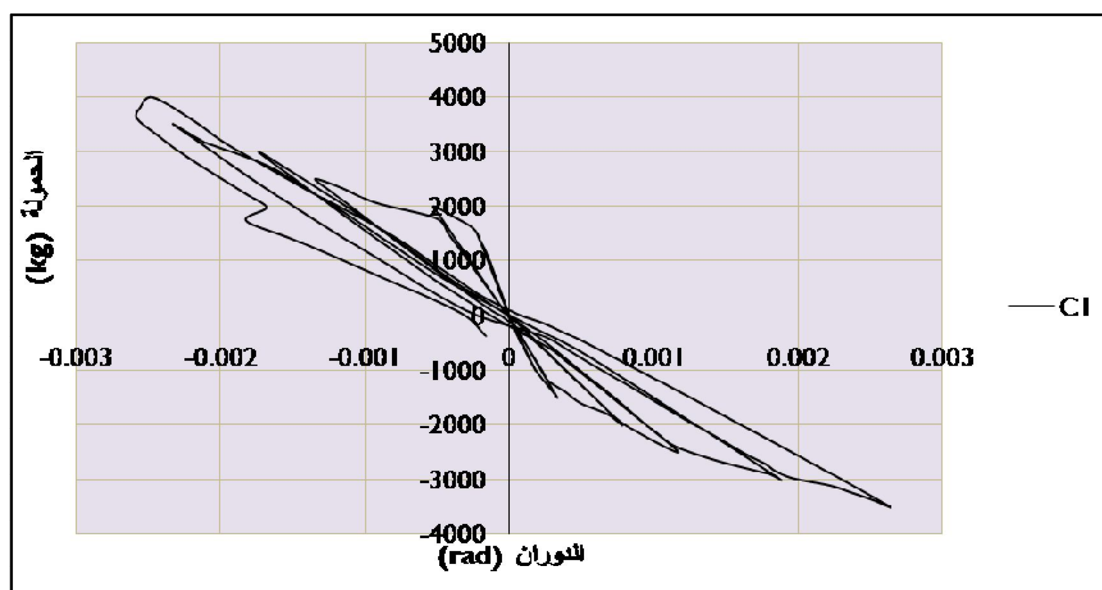
الشكل(2–27):علاقة (انتقال طرف الجائز – الحمولة) للوصلة (C3) تجريبياً [7].



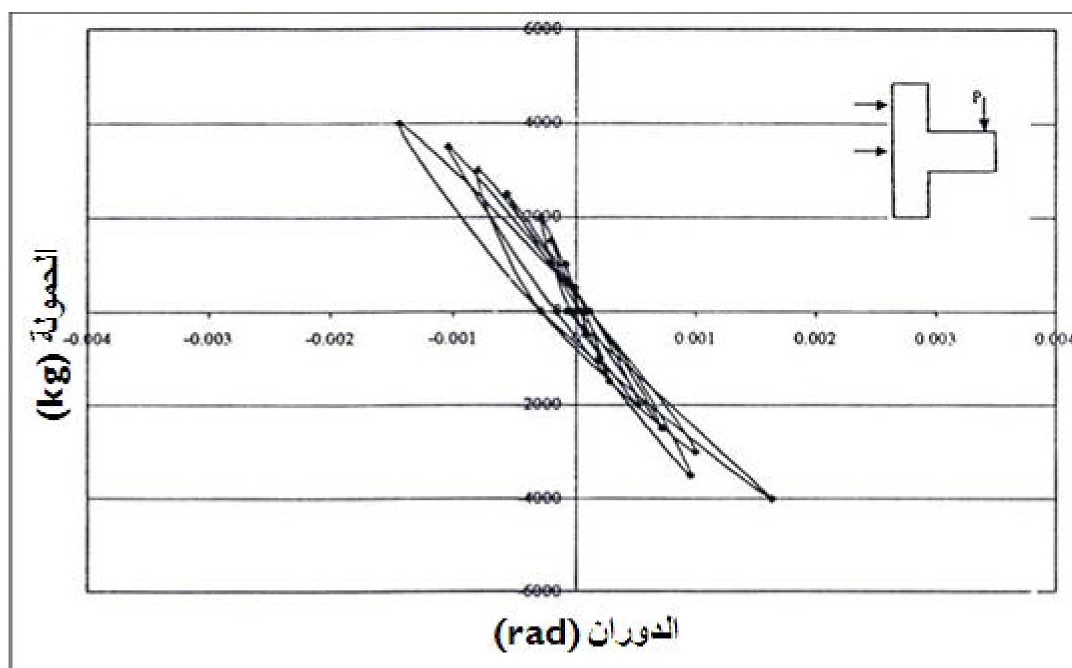
الشكل(2–28):علاقة (انتقال طرف الجائز – الحمولة) للوصلة (C3) تحليلياً (ANSYS).



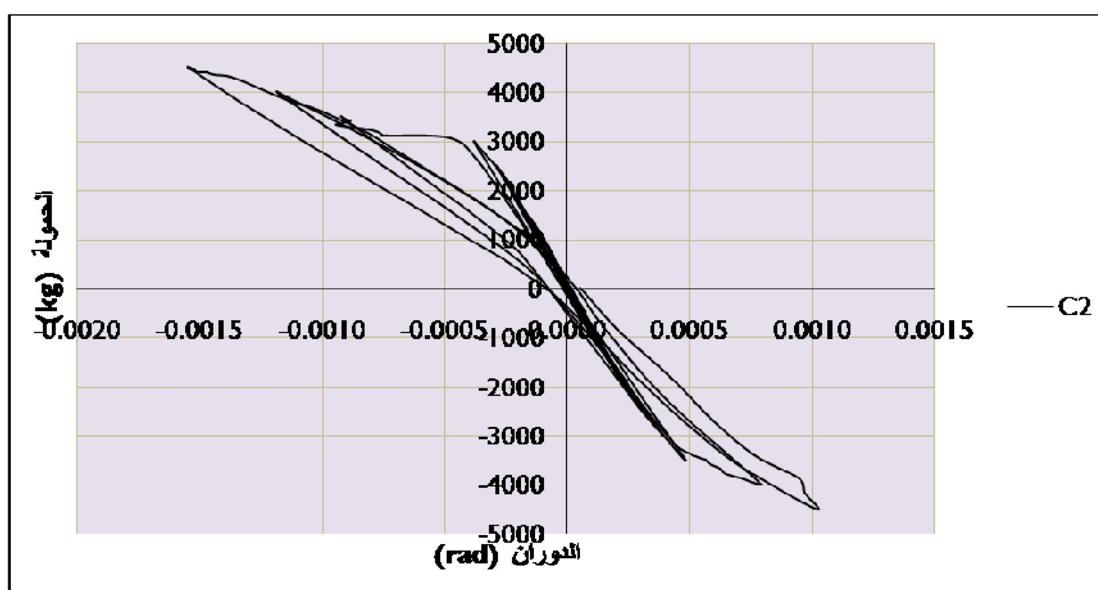
الشكل(2−29):علاقة (الدوران – الحمولة) للوصلة (C1) تجريبياً [7].



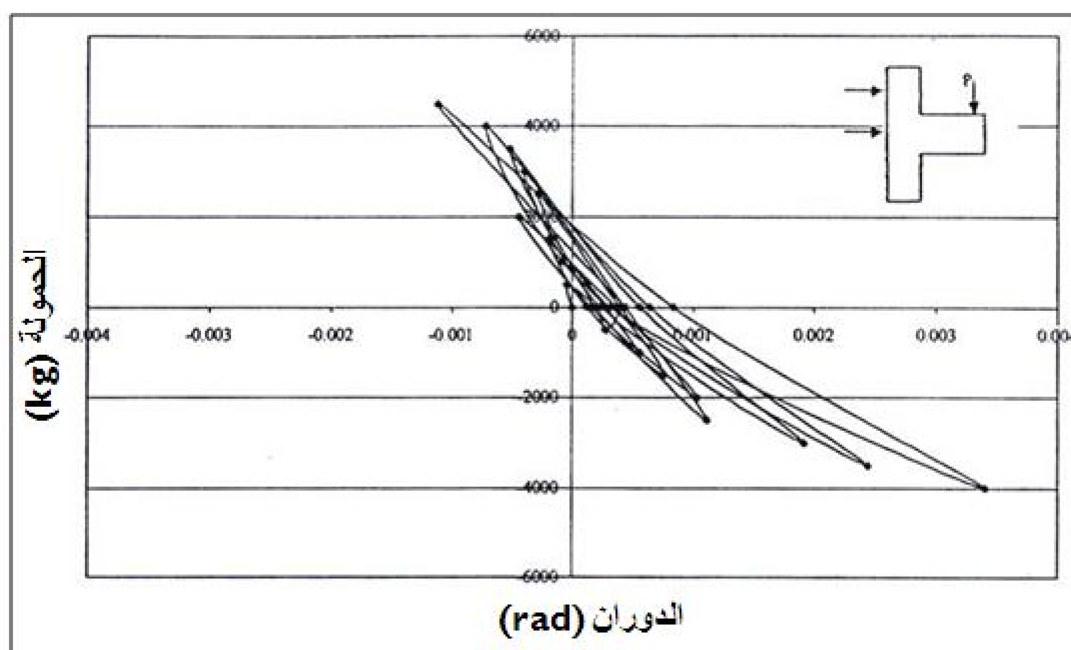
الشكل(2−30):علاقة (الدوران – الحمولة) للوصلة (C1) تحليلياً (ANSYS).



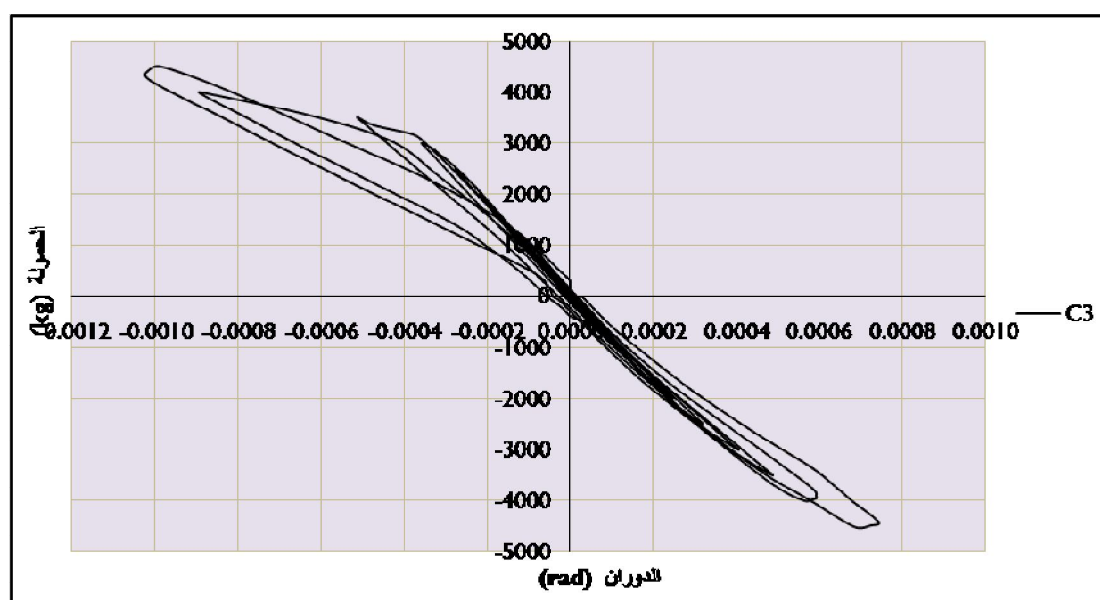
الشكل(2–31):علاقة (الدوران – الحمولة) للوصلة (C2) تجريبياً [7].



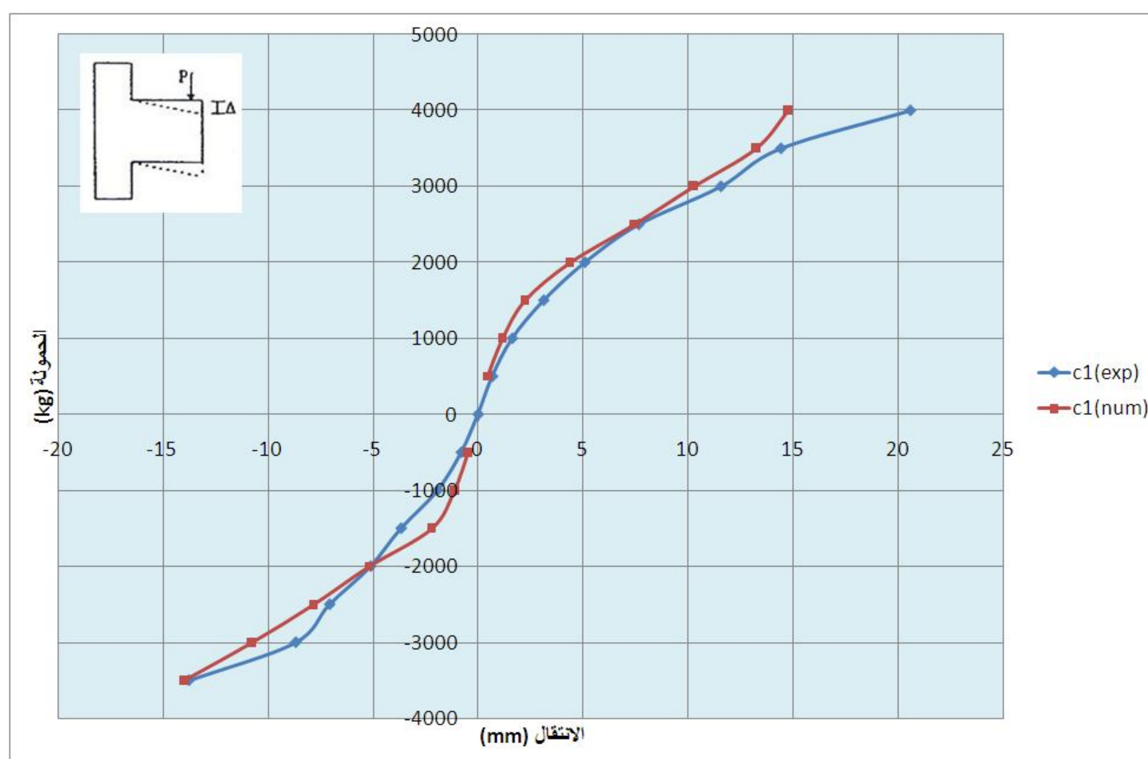
الشكل(2–32):علاقة (الدوران – الحمولة) للوصلة (C2) تحليلياً (ANSYS).



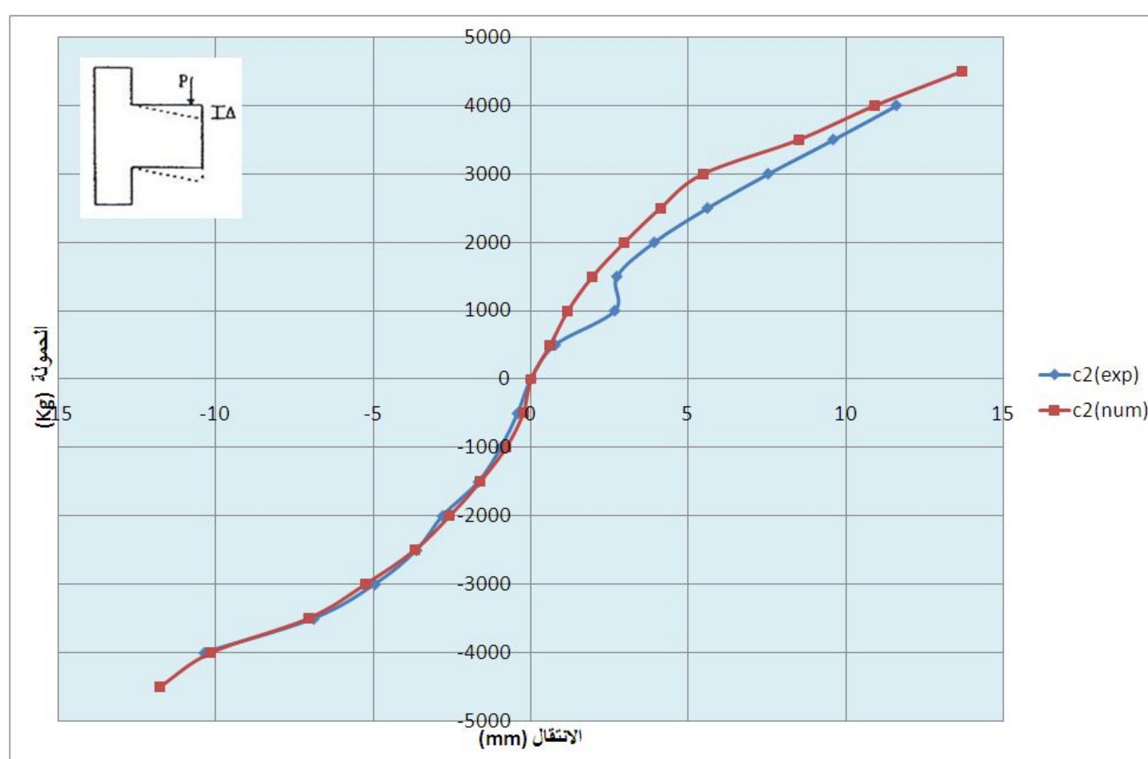
الشكل(2−33):علاقة (الدوران – الحمولة) للوصلة (C3) تجريبياً [7].



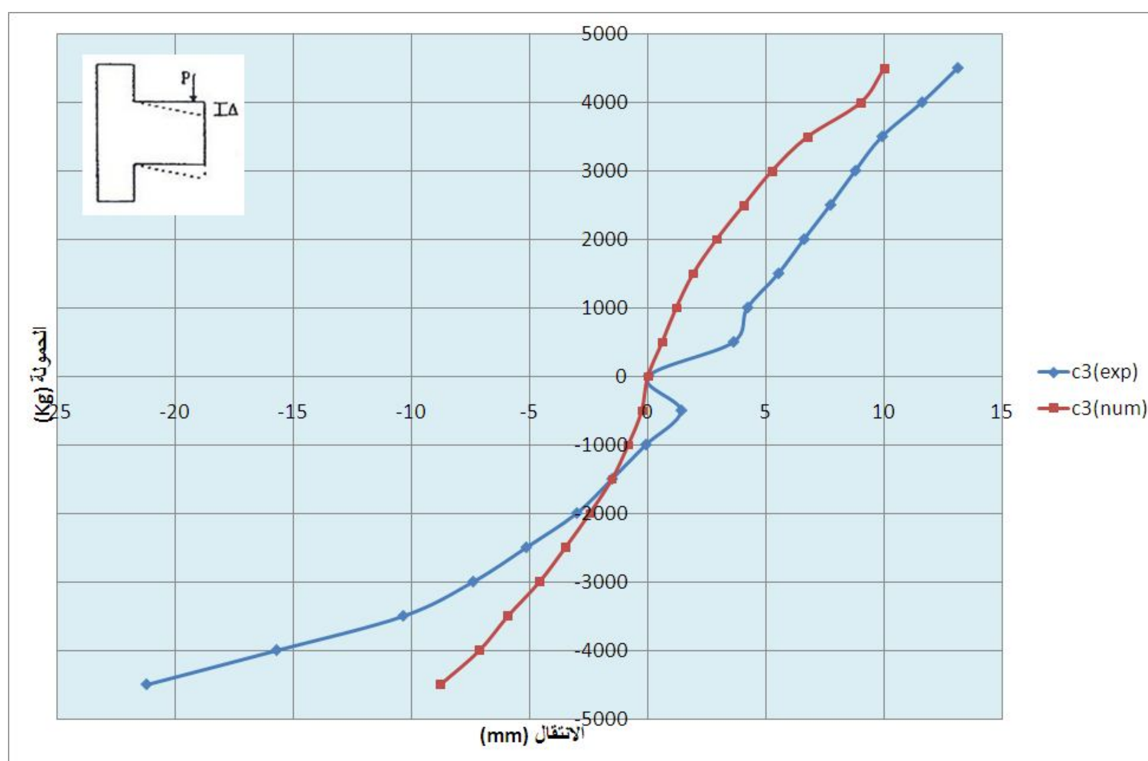
الشكل(2−34):علاقة (الدوران – الحمولة) للوصلة (C3) تحليلياً (ANSYS).



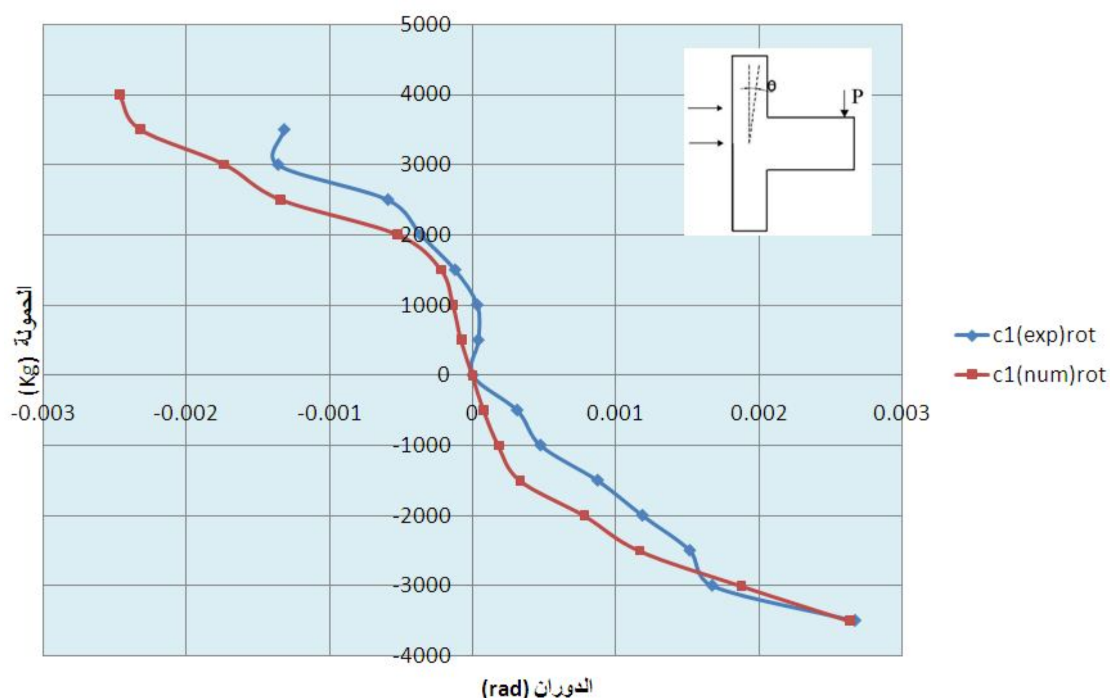
الشكل(2–35): مقارنة مغلف مخطط (الانتقال – الحمولة) تجريبياً وتحليلياً للوصلة (C1).



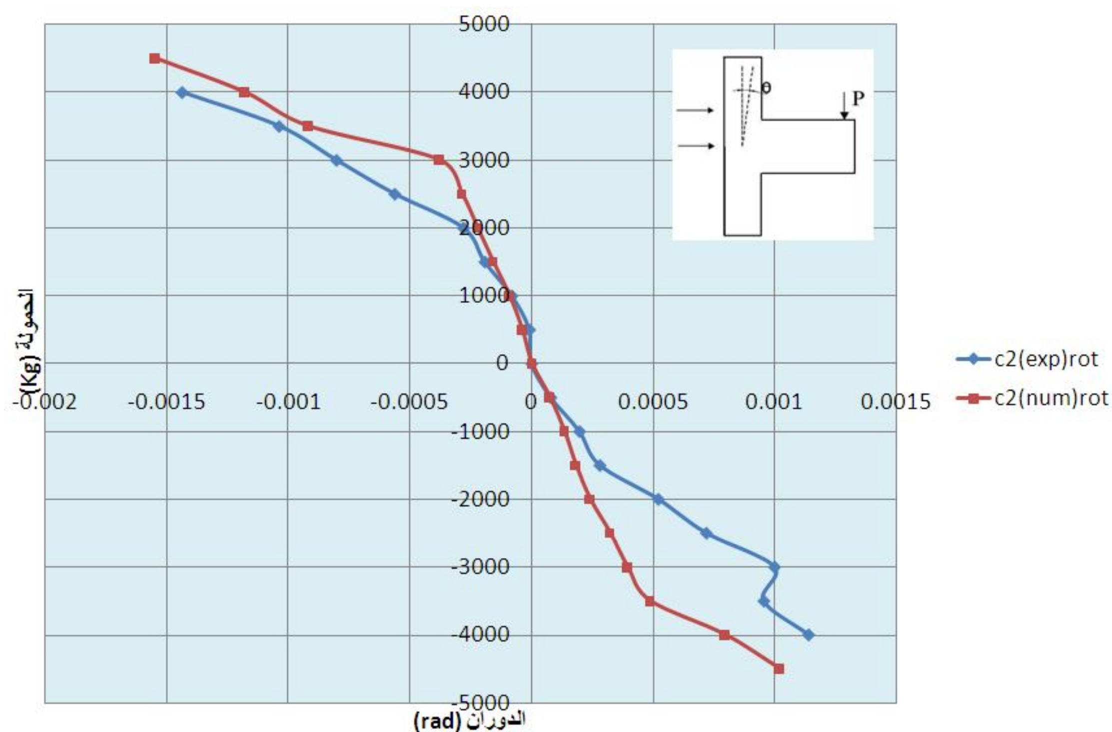
الشكل(2–36): مقارنة مغلف مخطط (الانتقال – الحمولة) تجريبياً وتحليلياً للوصلة (C2).



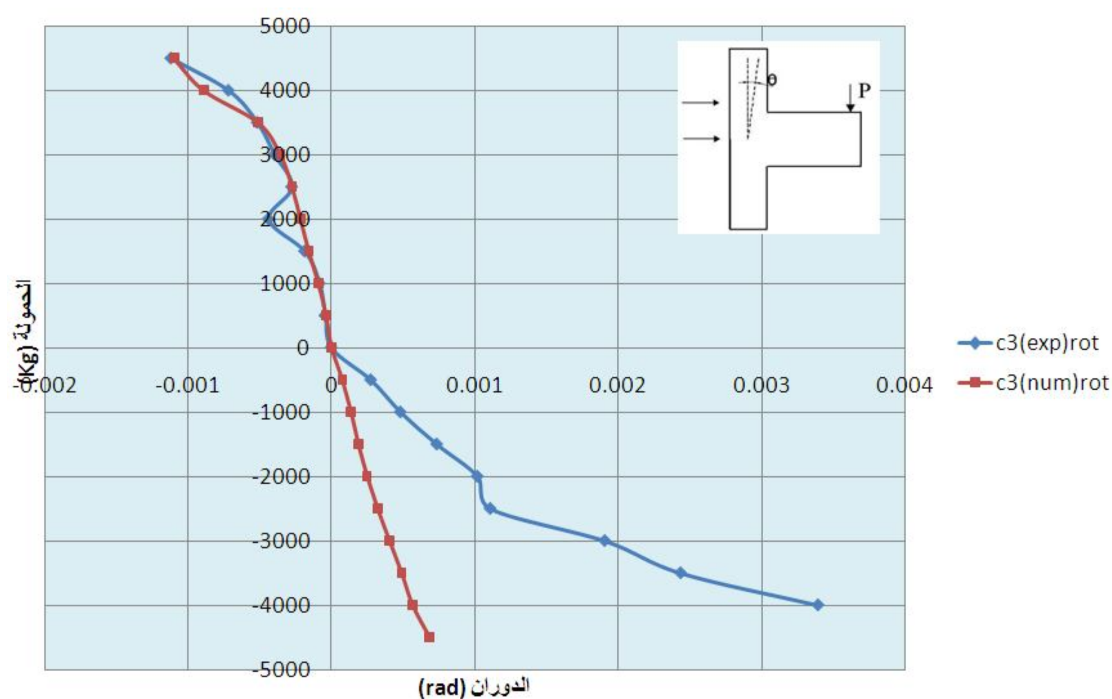
الشكل(2–37): مقارنة مغلف مخطط (الانتقال – الحمولة) تجريبياً وتحليلياً للوصلة (C3).



الشكل(2–38): مقارنة مغلف مخطط (الدوران – الحمولة) تجريبياً وتحليلياً للوصلة (C1).



الشكل(2−39): مقارنة مغلف مخطط (الدوران – الحمولة) تجريبياً وتحليلياً للوصلة (C2).



الشكل(2−40): مقارنة مغلف مخطط (الدوران – الحمولة) تجريبياً وتحليلياً للوصلة (C3).

ويظهر من خلال مقارنة النتائج التجريبية مع النتائج التحليلية أن القيم الناتجة تحليلياً ذات قيمة متناسبة ومنسجمة مع المظهر العام للسلوك أكثر من تلك المرصودة في التجربة وهنا تلعب عدة عوامل دورها في ذلك الاختلاف أهمها :

- شروط التقييد للعينة والتي تعتبر مثالية باستخدام برنامج Ansys في حين لا نضمن ذلك أثناء إجراء التجارب ضمن المخبر وذلك تبعاً لإمكانيات المخبر.
- وسائل قياس الانتقالات والأخطاء التي يمكن أن تنشأ.
- وقد يختلف سلوك البيتون في الواقع وضمن المخبر عن سلوكه المنمذج ضمن بيئة Ansys .

وهكذا وبعد أن تم التحقق من فعالية المحاكاة يمكن رصد أمور أخرى ودراسة سلوك العقد والوصلات تحت تأثير بارامترات مختلفة منها حمولة العمود المحورية وتطويق العقدة بالأساور.

الفصل الثالث

النتائج التحليلية والمقارنة

Analytical Results and Comparison

3-1- مقدمة (Introduction):

بعد أن تم التحقق من فعالية المحاكاة، يمكن استخدام النماذج السابقة المدروسة في دراسة سلوك العقد تحت تأثير وجود حمولة محورية على العمود ووجود التطويق بالأساور في منطقة العقدة، ومقارنة هذا السلوك باستخدام مظاهر مختلفة تُبديها العقدة عند تعرضها لحمولة دورية محاكية للحمولات الزلزالية، وهذه المظاهر متعددة تمت دراسة بعضها في هذا البحث منها التشققات، الانتقال، الدوران، والقص في العقدة.

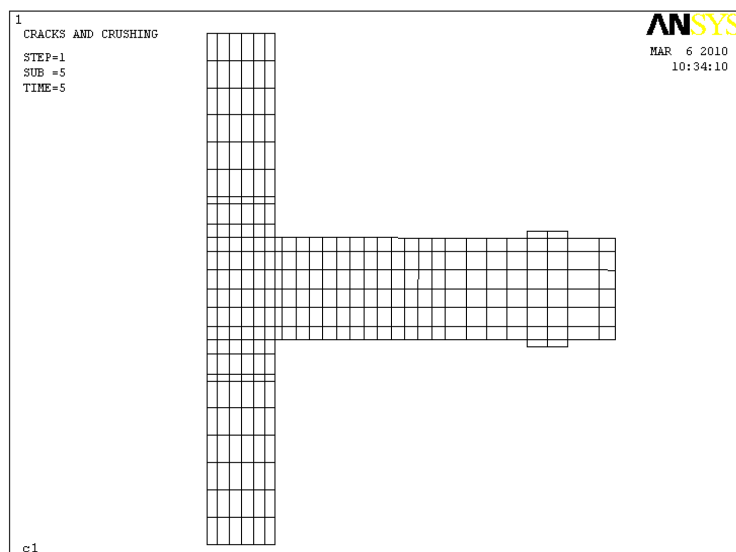
3-2- دراسة أنماط التشققات (Study of Crack Patterns):

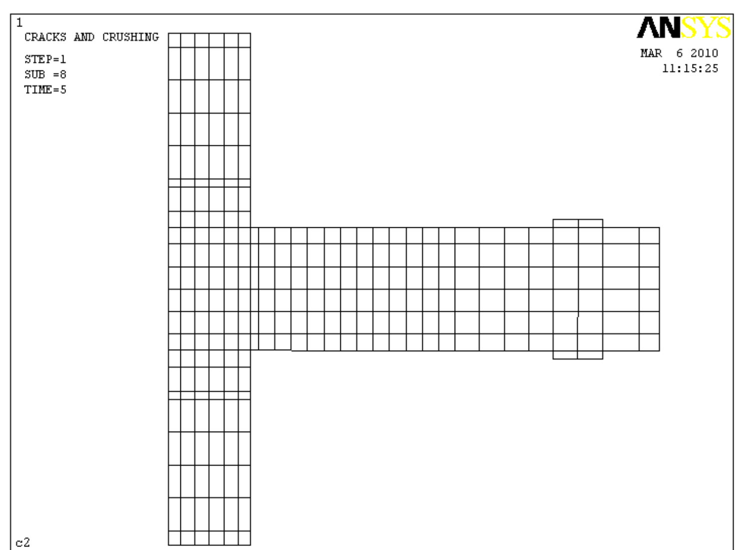
نلاحظ من خلال دراسة أنماط التشققات الحاصلة في النماذج الثلاثة للوصلات المدروسة (C_1,C_2,C_3)، أن التشققات في الوصلة C_1 بدأت بالدخول إلى لوح العقدة في بداية دورة التحميل الثالثة وانتشرت في الجائز والعقدة والعمود بشكل كبير حتى دورة التحميل الثامنة بعد ذلك انهارت العينة رياضياً.

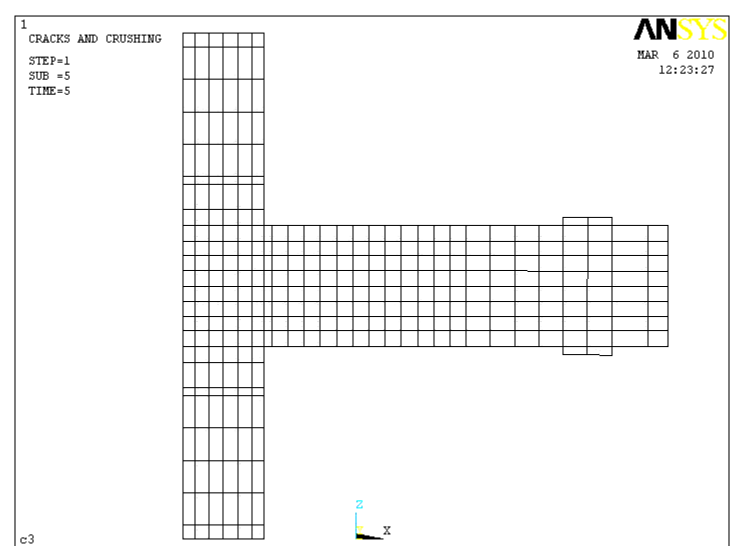
أما في الوصلة C_2 بدأت التشققات بالدخول إلى لوح العقدة في بداية دورة التحميل الخامسة، وانتشرت في الجائز في دورات التحميل الأولى قبل أن تدخل العقدة وحتى دورة التحميل الأخيرة كان انتشار الشقوق في العمود محدود أقل من العينة C1 نتيجة وجود الحمولة المحورية على العمود.

بينما في الوصلة C_3 بدأت التشققات بالدخول إلى لوح العقدة في بداية دورة التحميل الخامسة، انتشرت الشقوق في الجائز في دورات التحميل الأولى قبل أن تدخل العقدة وحتى دورة التحميل الأخيرة كان انتشار الشقوق في العمود محدود أقل من العينة C2 بسبب عمل آلية التطويق في العقدة.

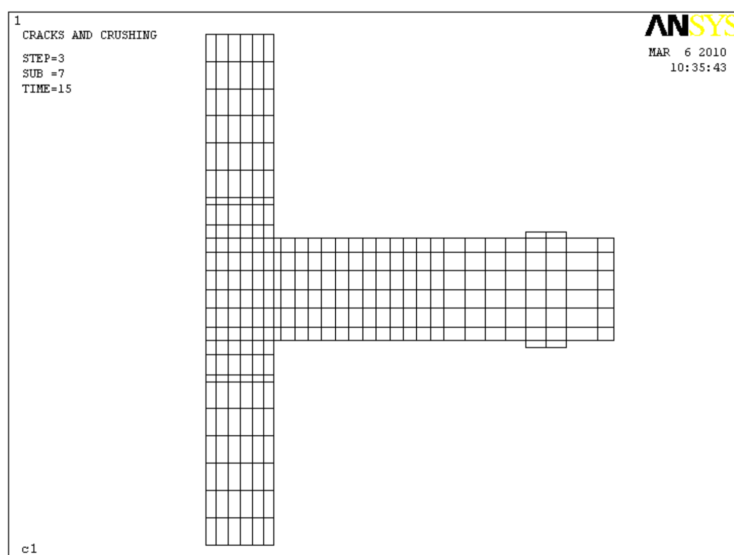
تعرض الأشكال الآتية مقارنة أنماط التشققات في الوصلات الثلاثة تحت تأثير الحمولة الدورية المحاكية للحمولة الزلزالية.

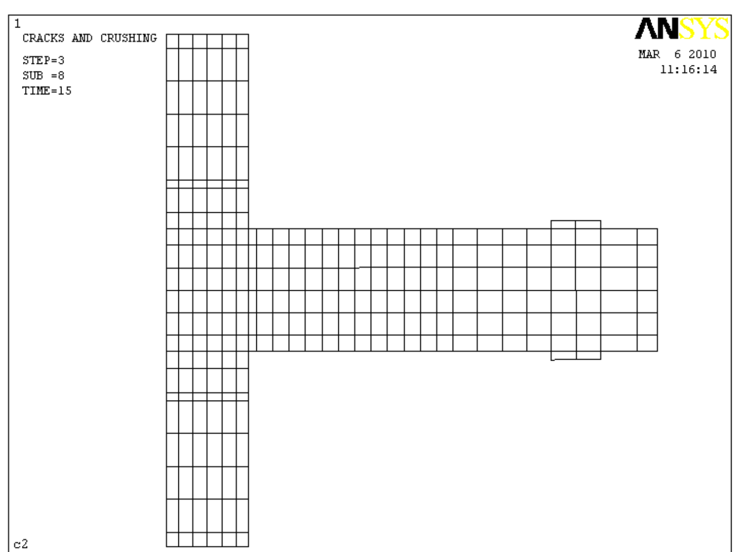


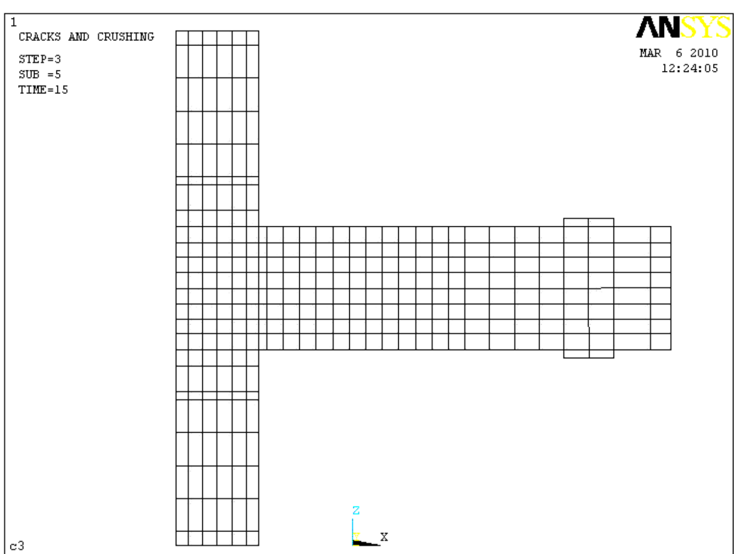




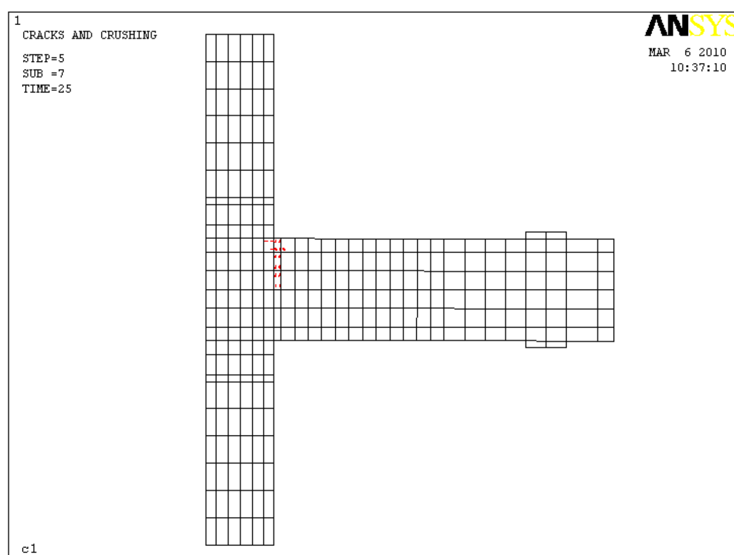
الشكل(3-1):أنماط التشققات عند تطبيق حمولة دورية P=500 kg للوصلات (C_1,C_2,C_3).

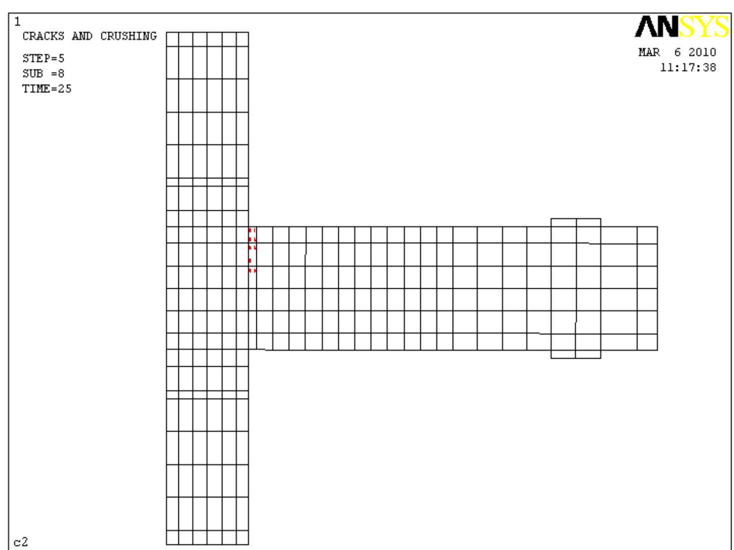


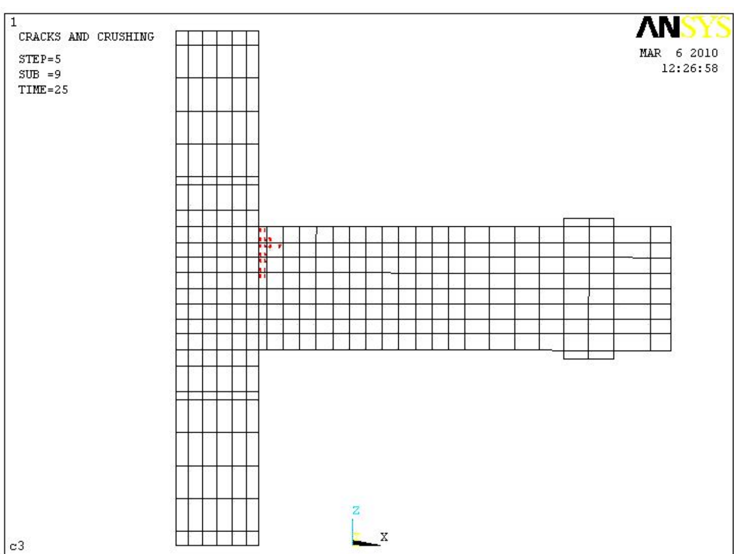




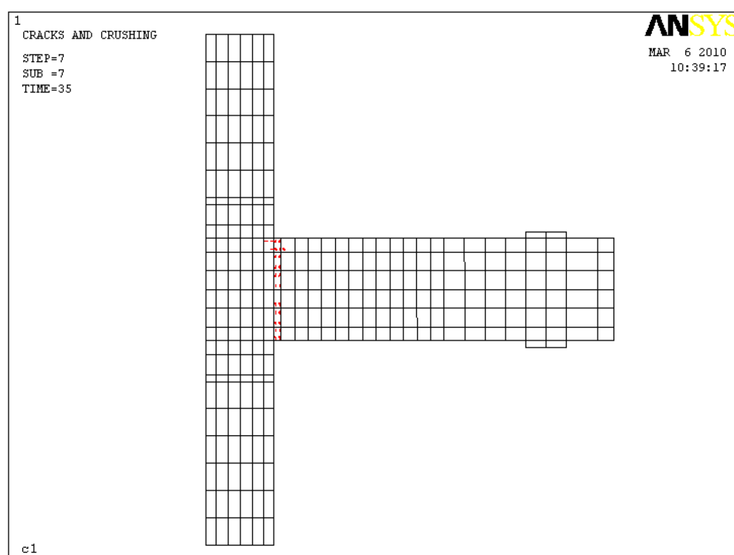
الشكل(3−2):أنماط التشققات عند تطبيق حمولة دورية P=-500 kg للوصلات (C_1,C_2,C_3).

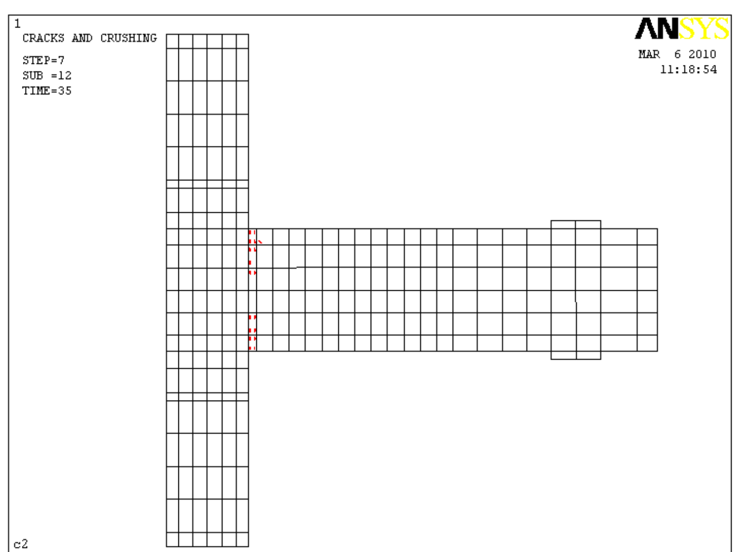


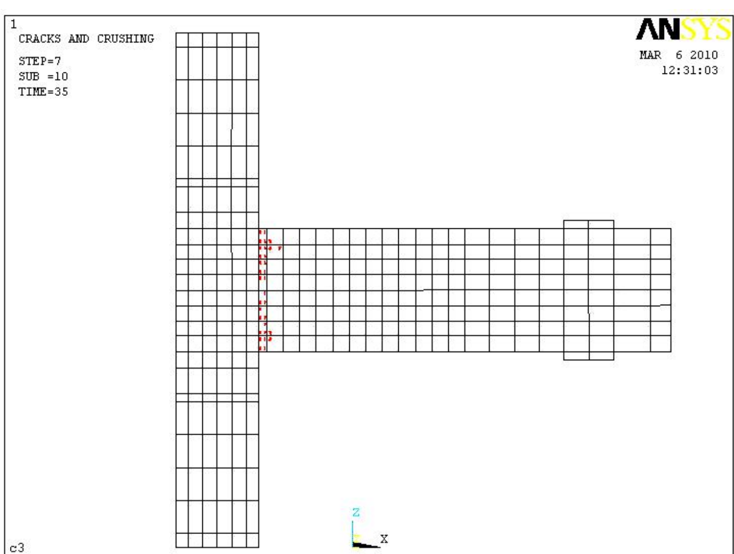




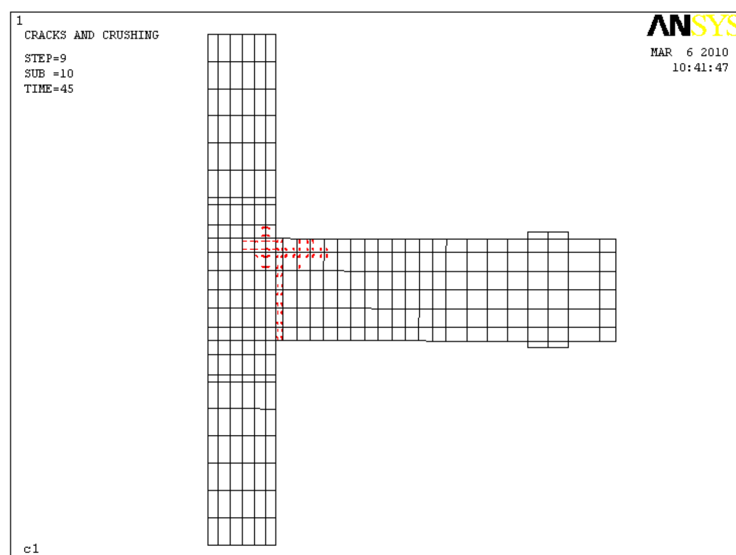
الشكل(3-3):أنماط التشققات عند تطبيق حمولة دورية P=1000 kg للوصلات (C_1,C_2,C_3).

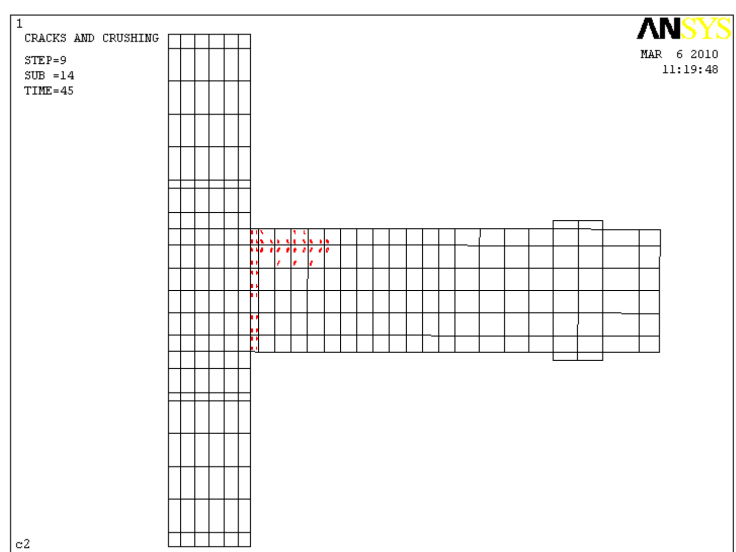


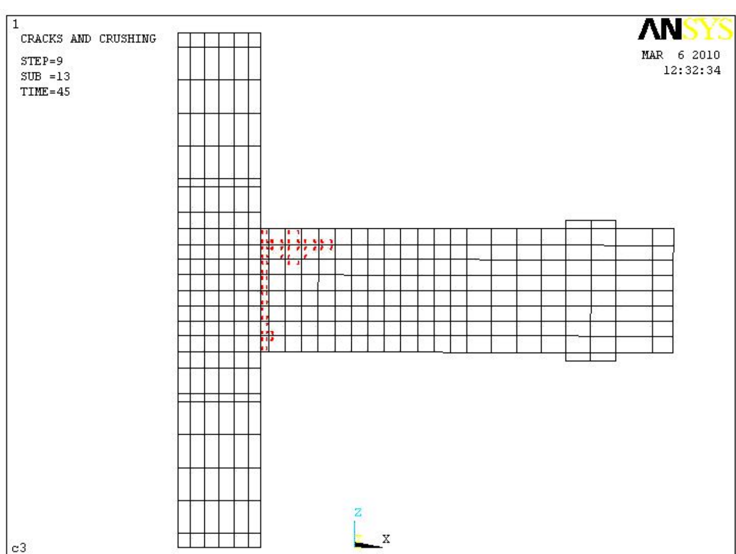




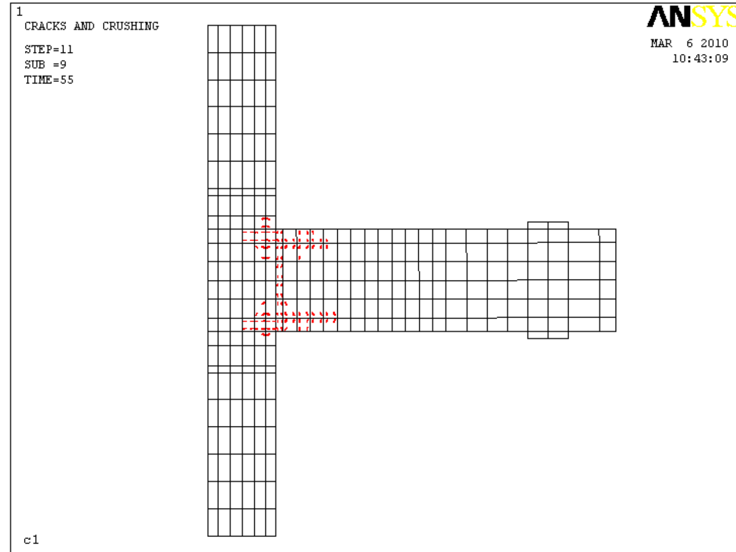
الشكل(3-4):أنماط التشققات عند تطبيق حمولة دورية P=-1000 kg للوصلات (C_1,C_2,C_3).

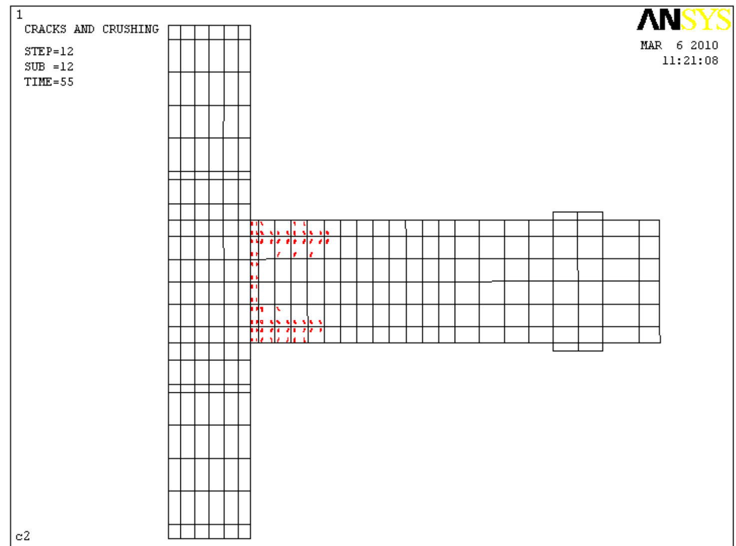


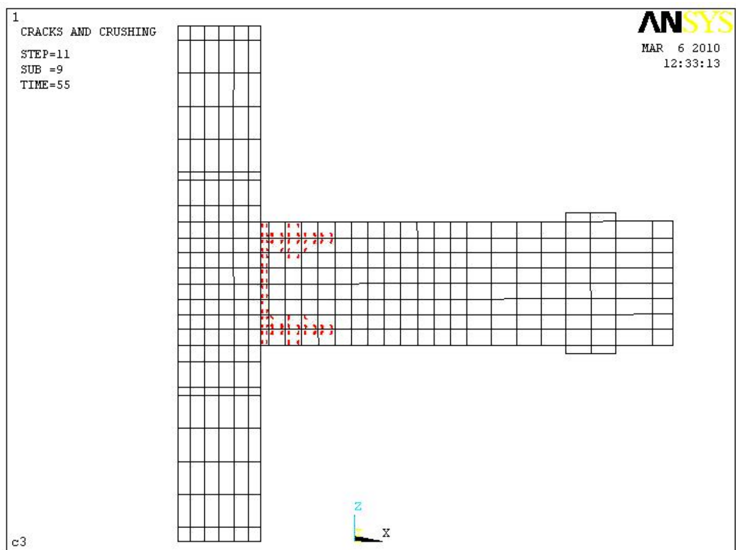




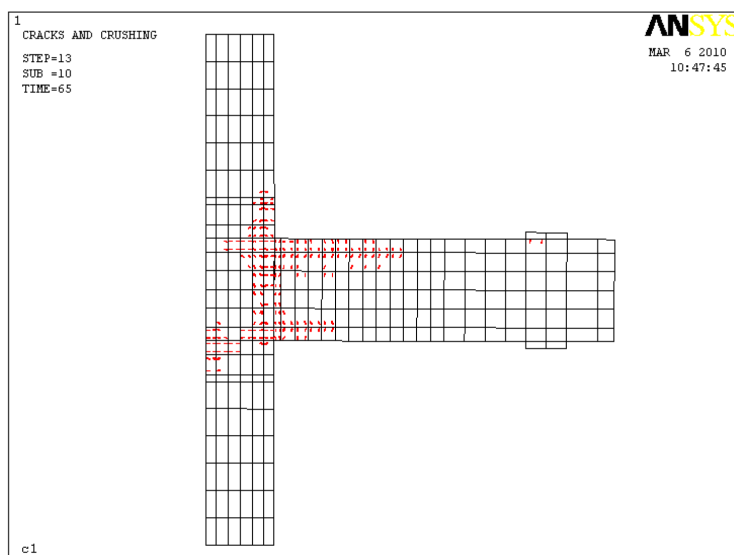
الشكل(3-5):أنماط التشققات عند تطبيق حمولة دورية P=1500 kg للوصلات (C_1,C_2,C_3).

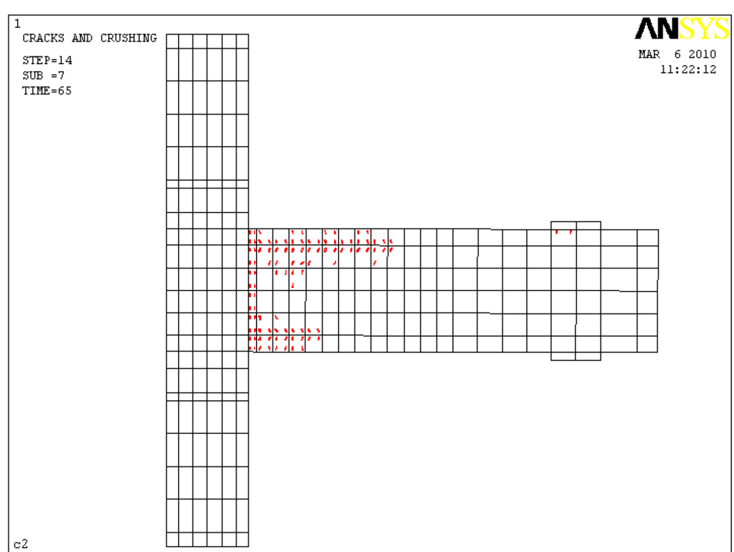


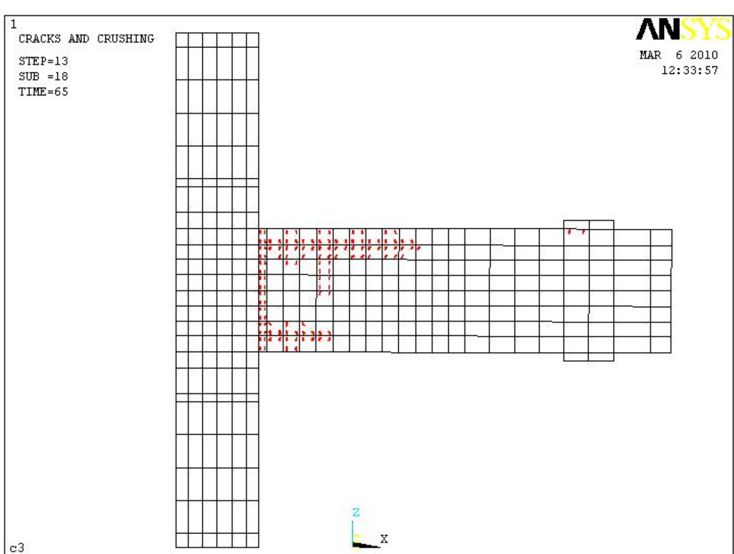




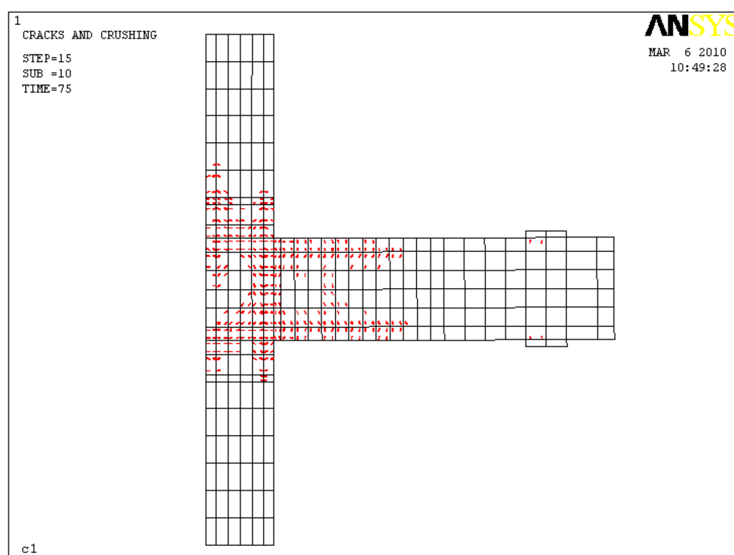
الشكل(3-6):أنماط التشققات عند تطبيق حمولة دورية P=-1500 kg للوصلات (C_1,C_2,C_3).

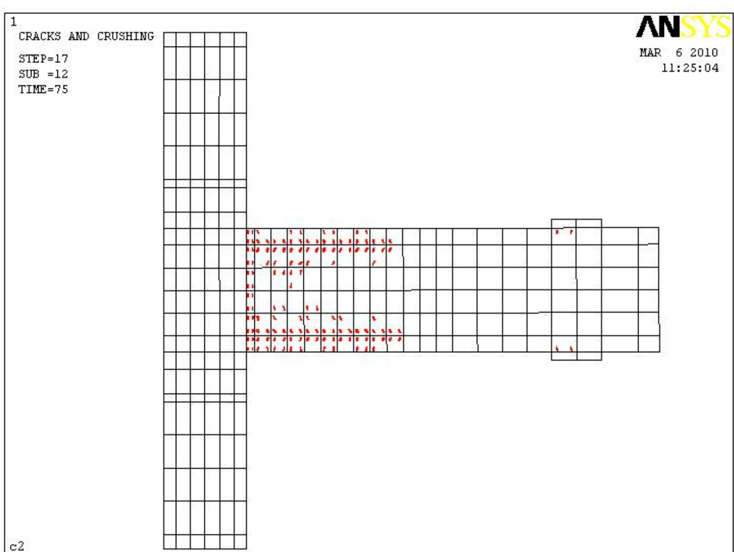


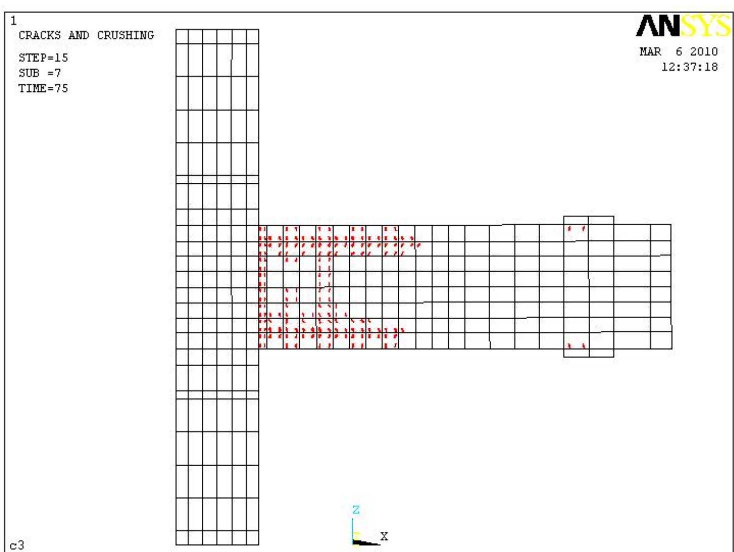




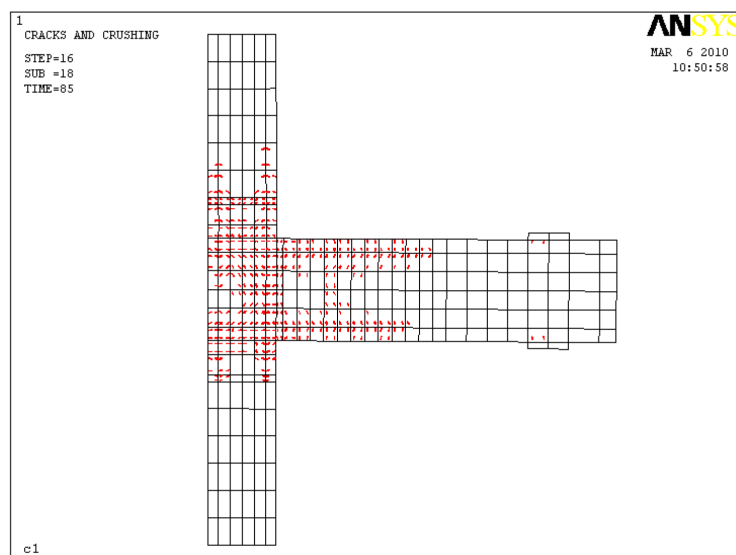
الشكل(3−7):أنماط التشققات عند تطبيق حمولة دورية P=2000 kg للوصلات (C_1,C_2,C_3).

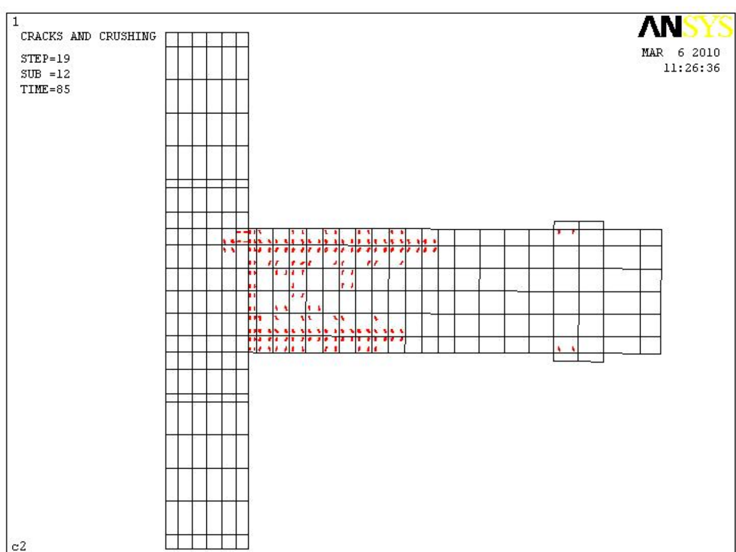


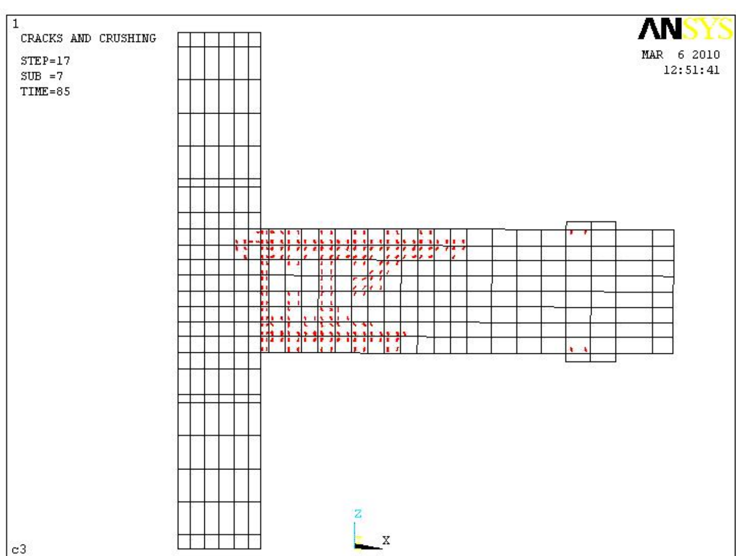




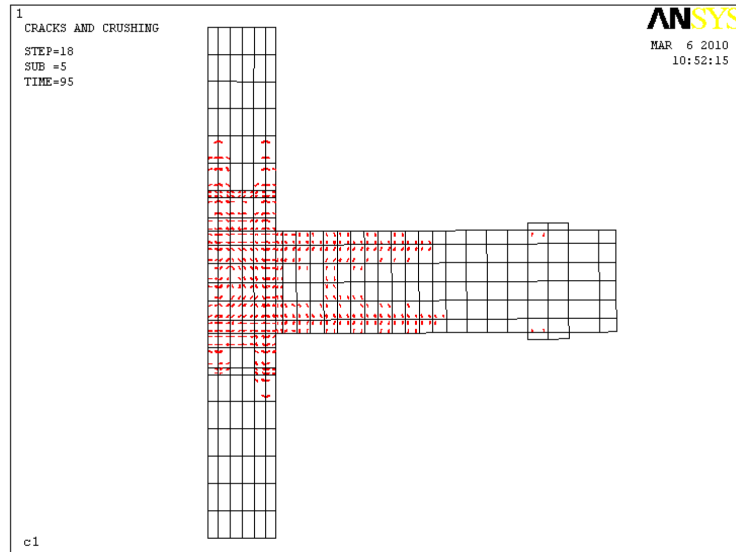
الشكل(3-8):أنماط التشققات عند تطبيق حمولة دورية P=-2000 kg للوصلات (C_1,C_2,C_3).

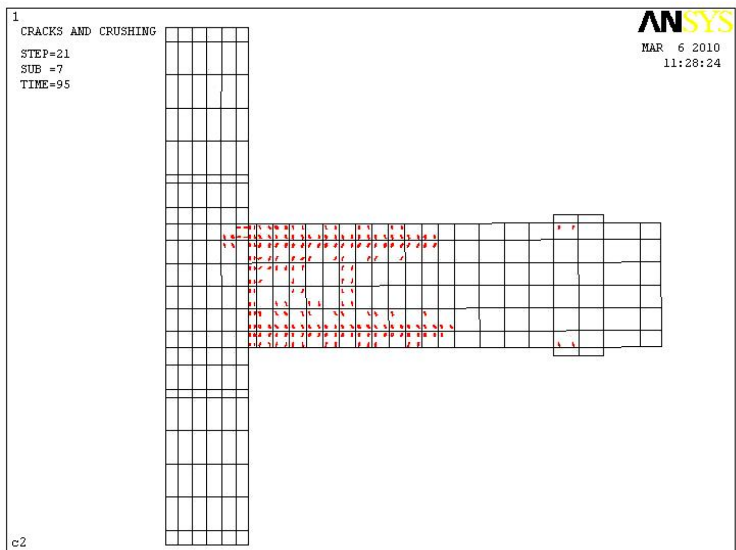


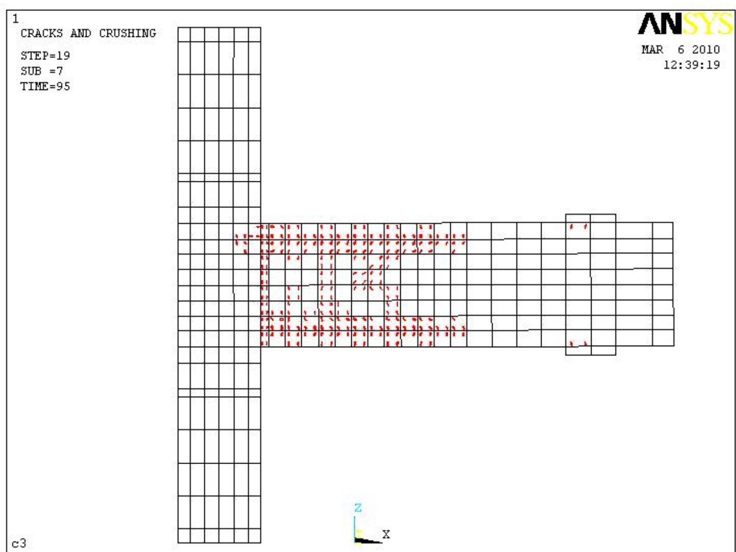




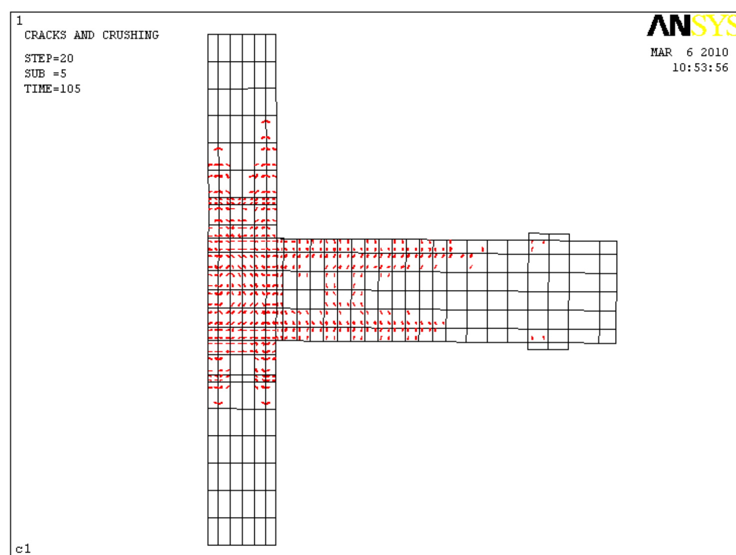
الشكل(3−9):أنماط التشققات عند تطبيق حمولة دورية P=2500kg للوصلات (C_1,C_2,C_3).

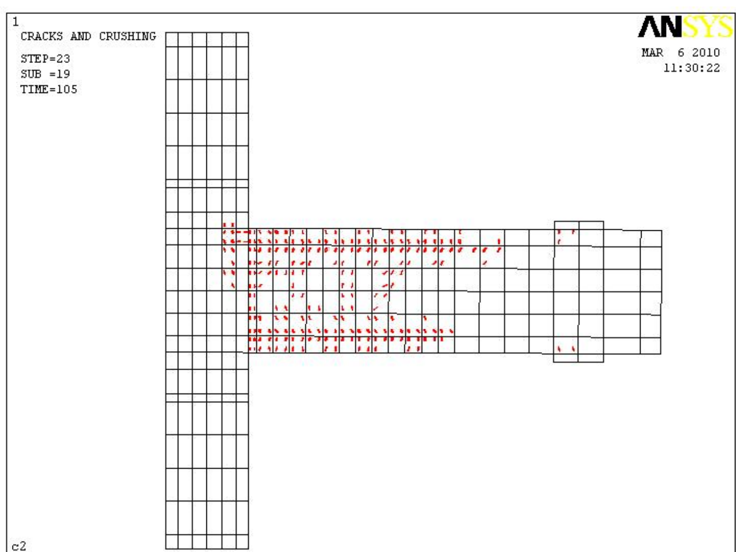


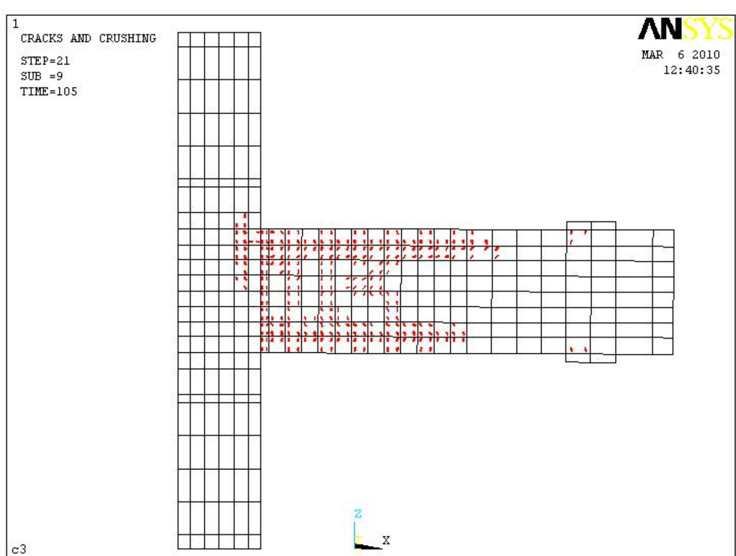




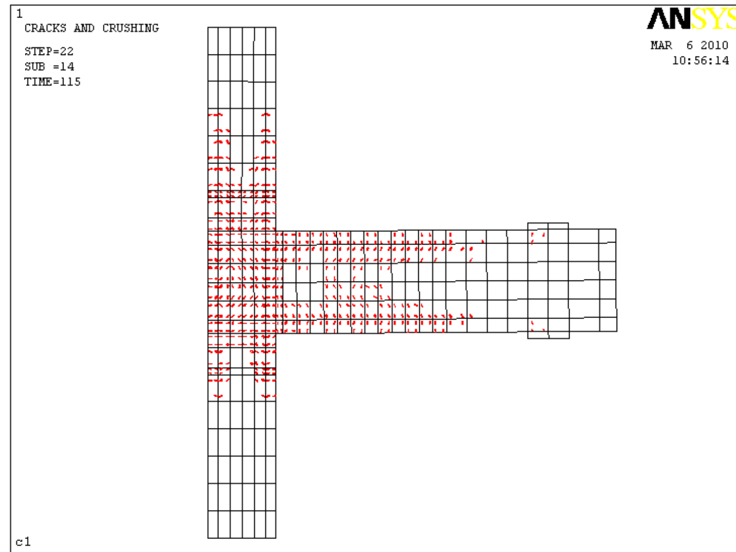
الشكل(3−10):أنماط التشققات عند تطبيق حمولة دورية P=-2500kg للوصلات (C_1,C_2,C_3).

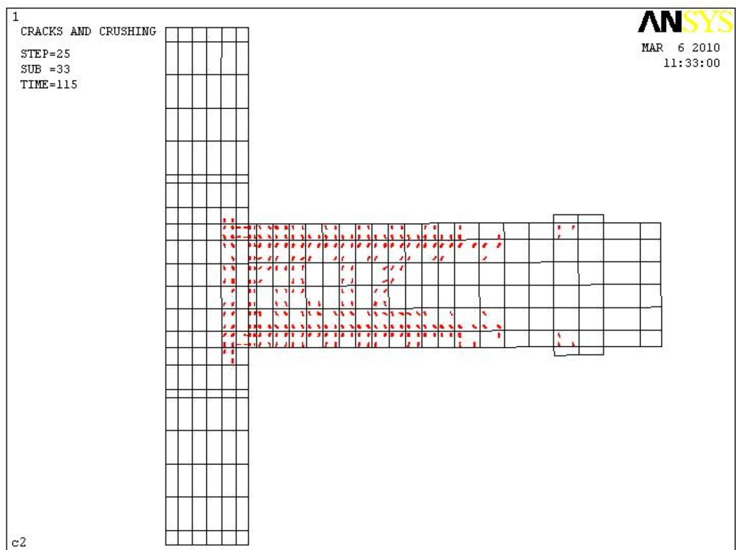


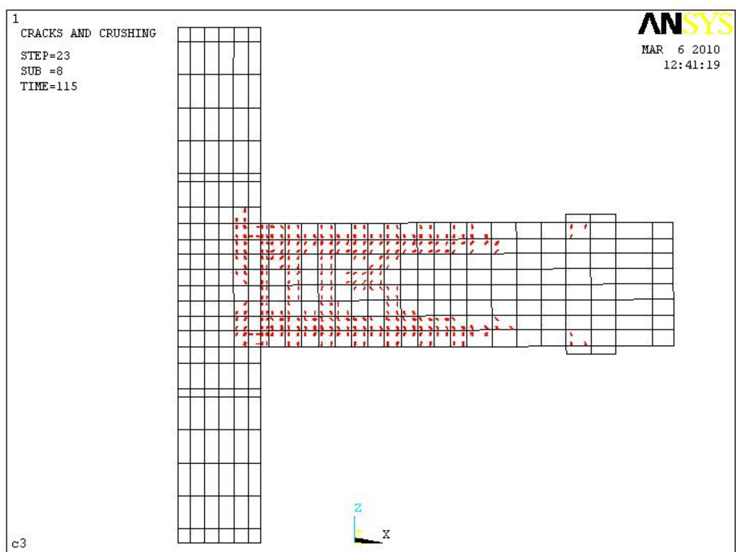




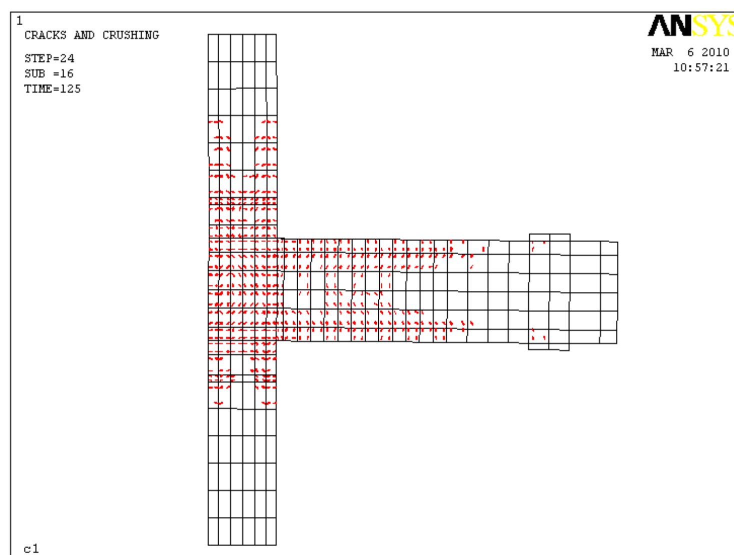
الشكل(3−11):أنماط التشققات عند تطبيق حمولة دورية P=3000kg للوصلات (C_1,C_2,C_3).

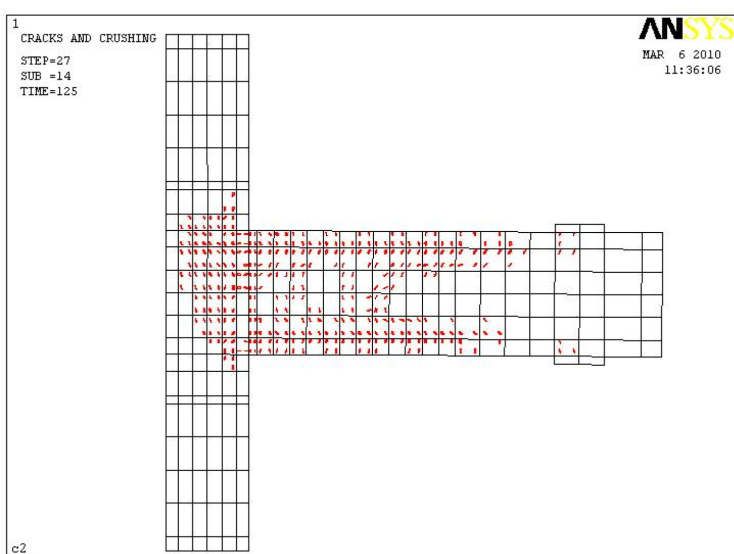


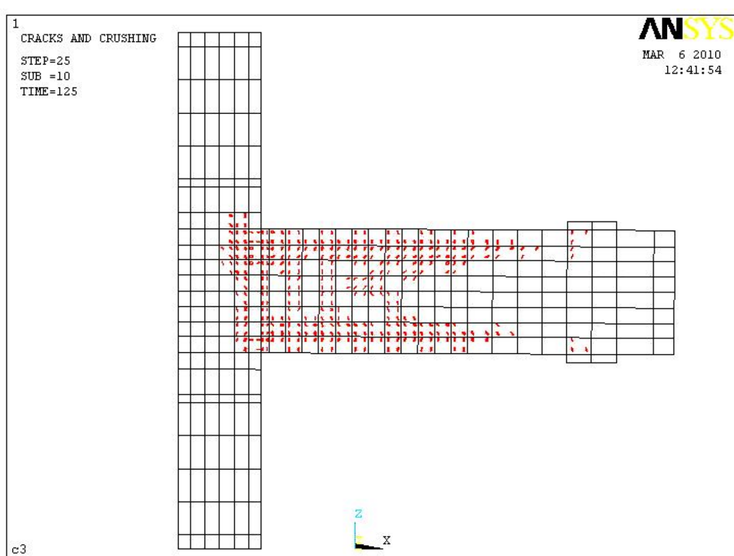




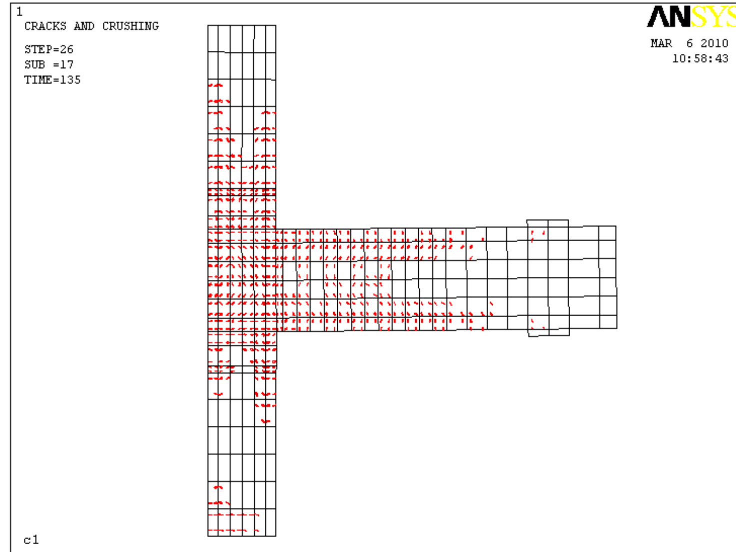
الشكل(3−12):أنماط التشققات عند تطبيق حمولة دورية P=-3000kg للوصلات (C_1,C_2,C_3).

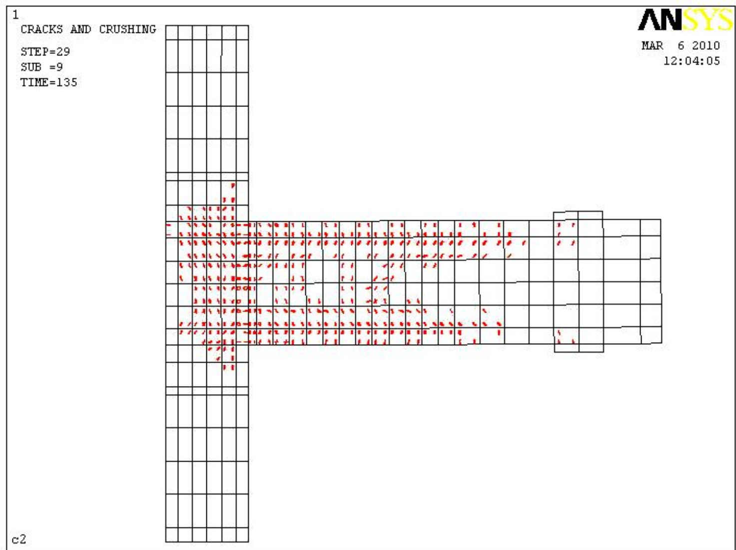


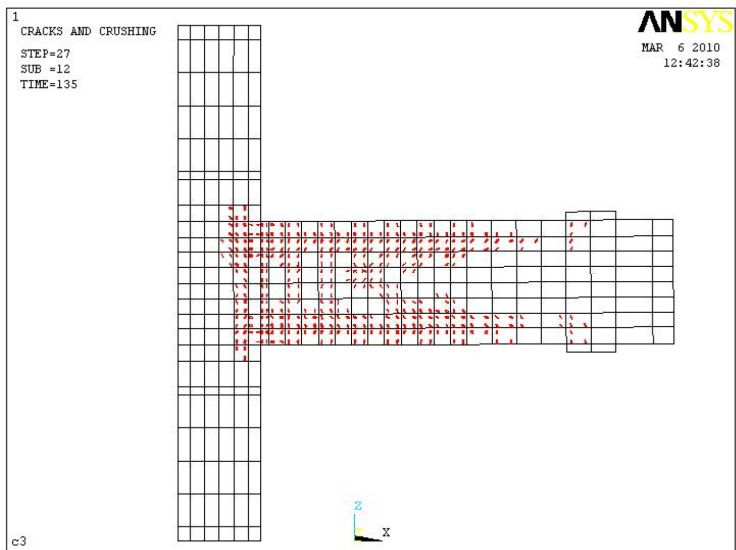




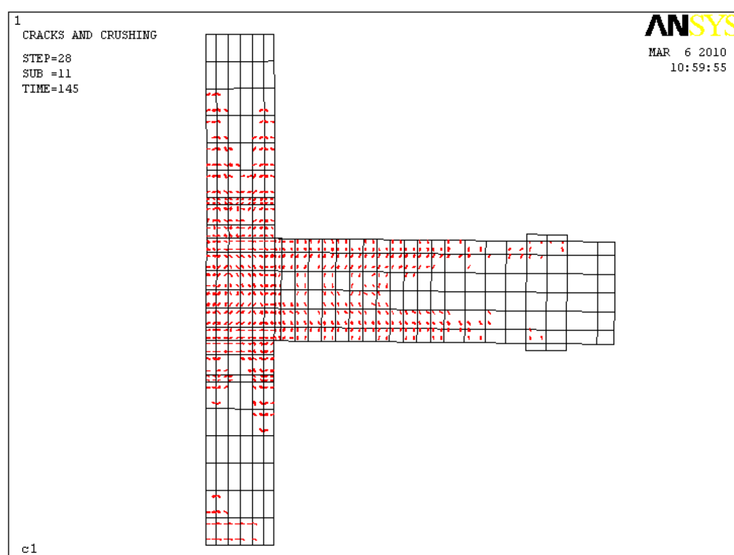
الشكل(3-13):أنماط التشققات عند تطبيق حمولة دورية P=3500kg للوصلات (C_1,C_2,C_3).

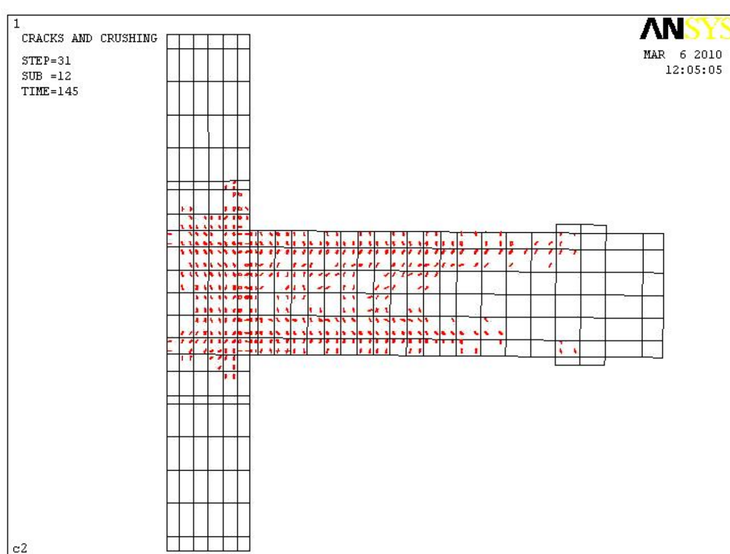


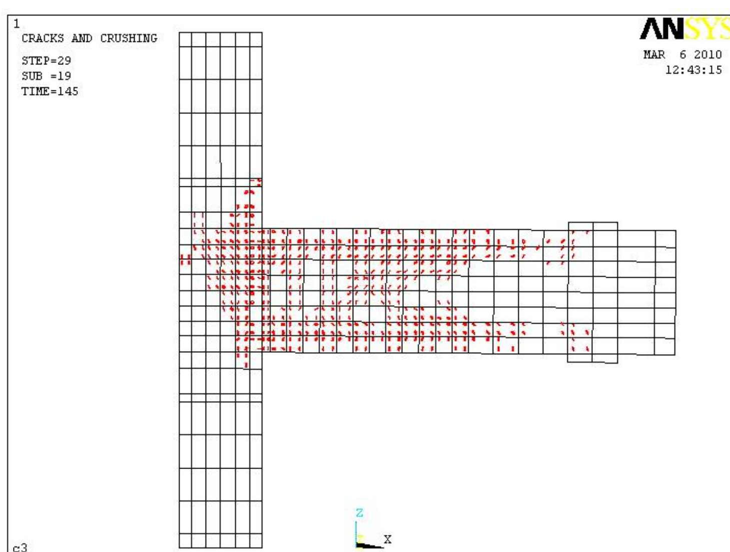




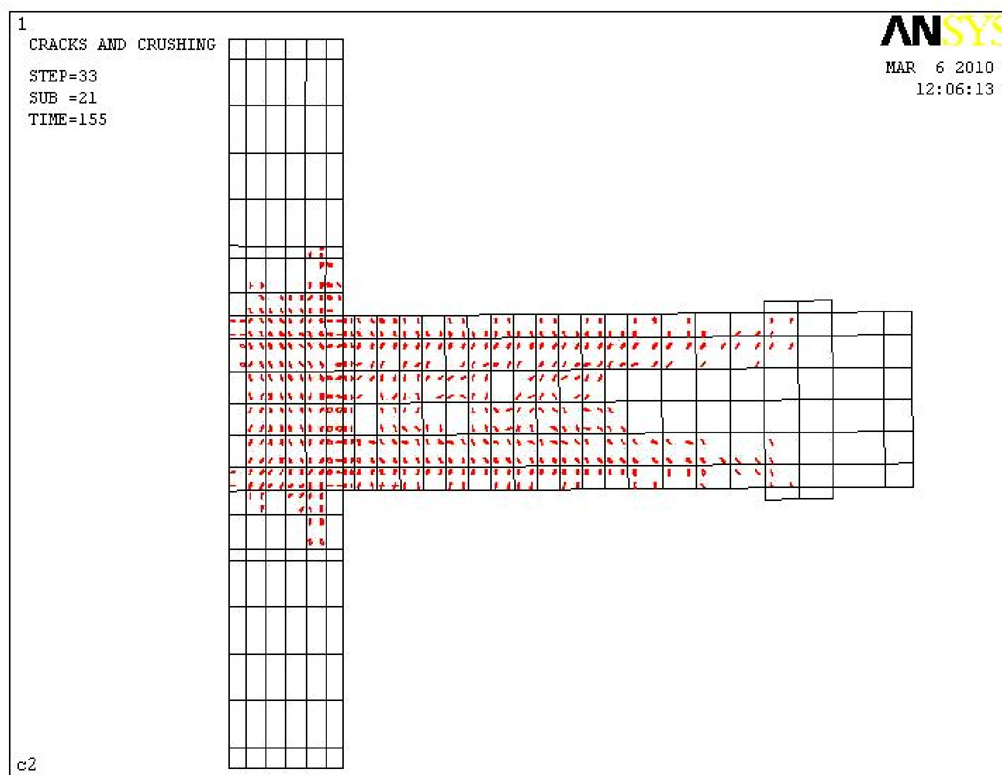
الشكل(3−14):أنماط التشققات عند تطبيق حمولة دورية P=-3500kg للوصلات (C_1,C_2,C_3).

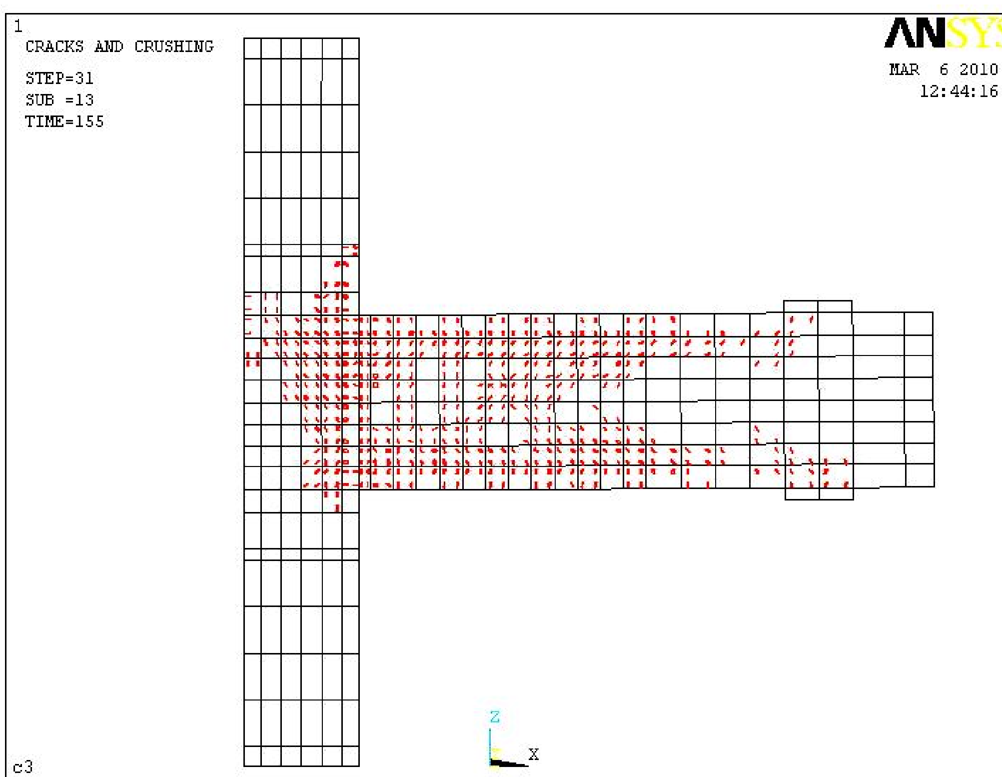




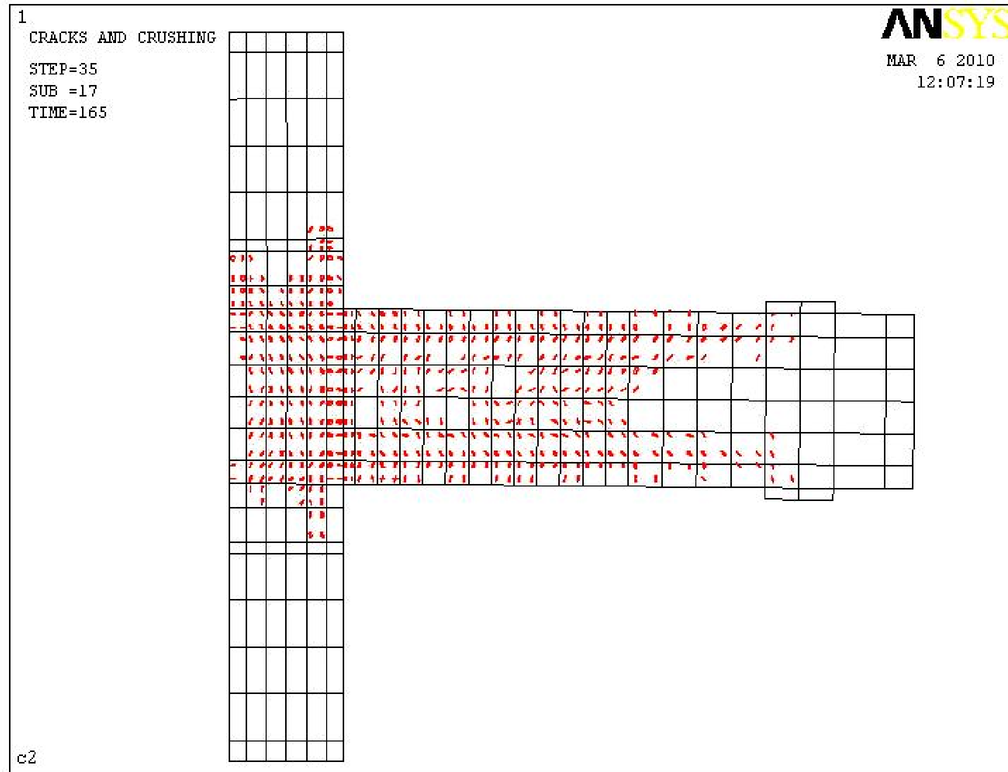


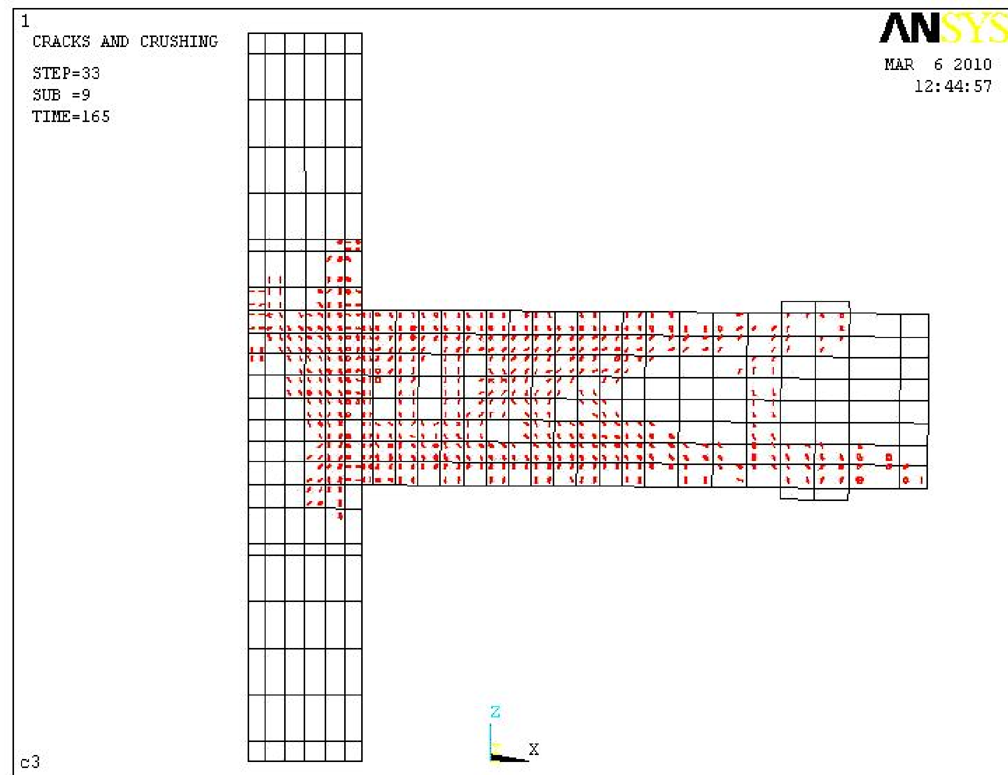
الشكل(3-15):أنماط التشققات عند تطبيق حمولة دورية P=4000kg للوصلات (C_1,C_2,C_3).



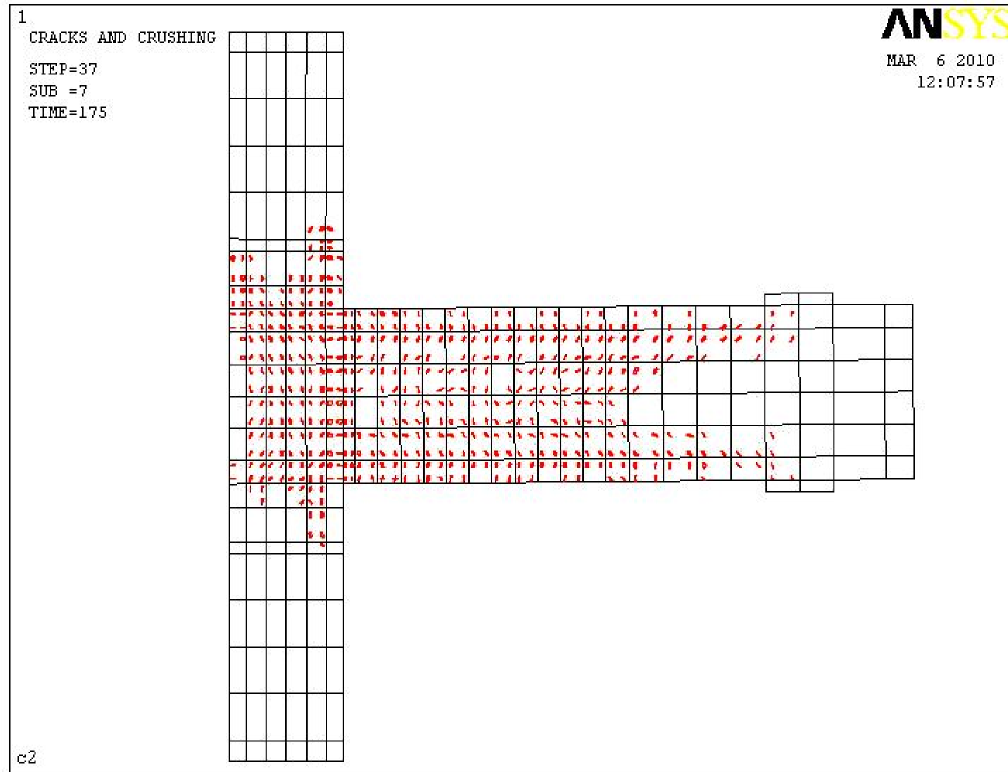


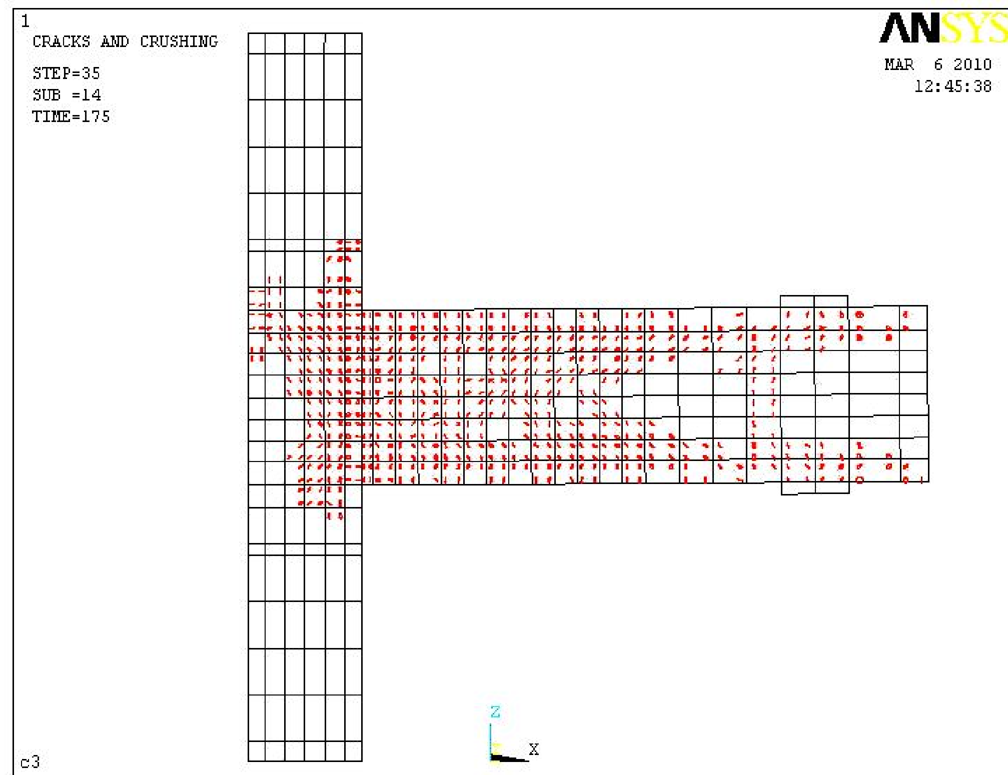
الشكل(3−16):أنماط التشققات عند تطبيق حمولة دورية P=-4000kg للوصلات (C_2,C_3).



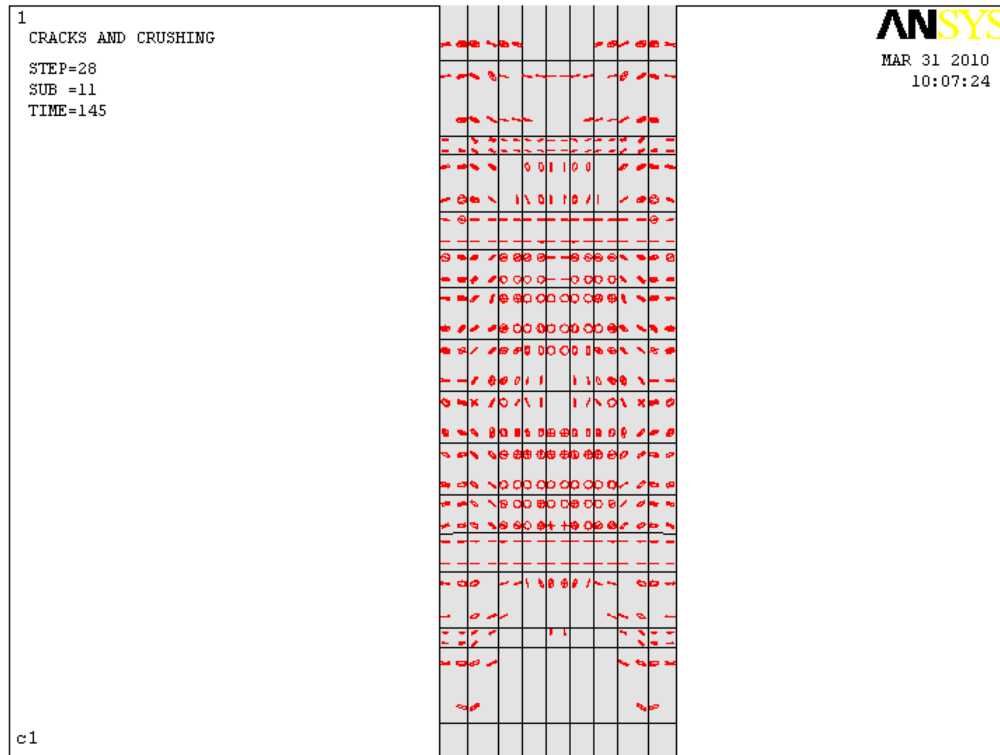


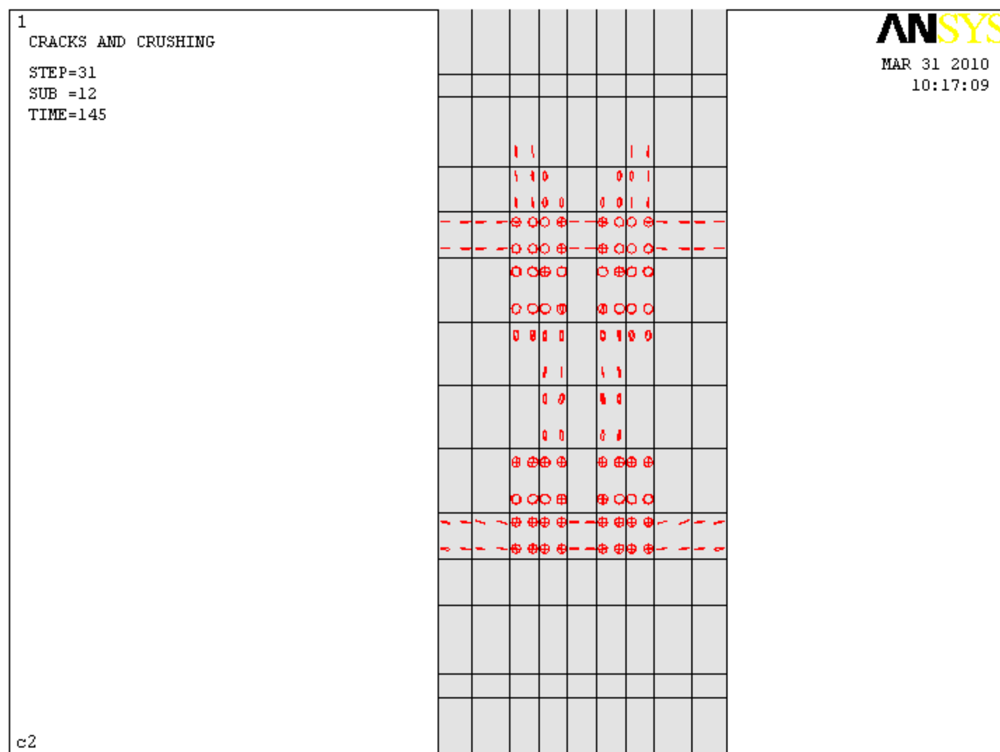
الشكل(3−17):أنماط التشققات عند تطبيق حمولة دورية P=4500kg للوصلات (C_2,C_3).



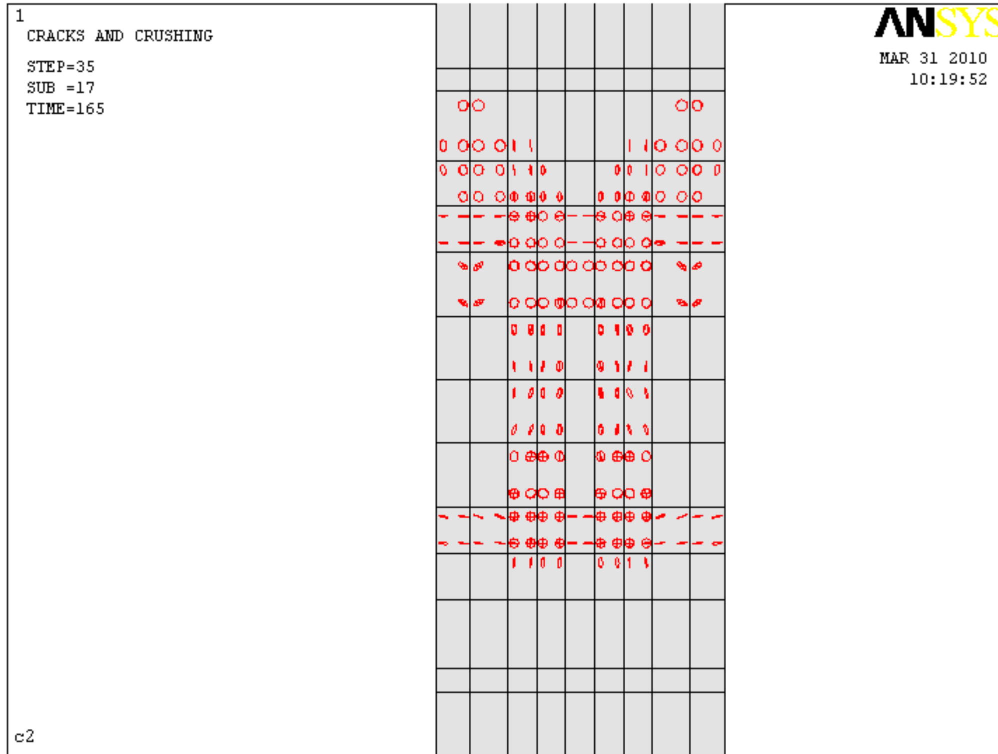


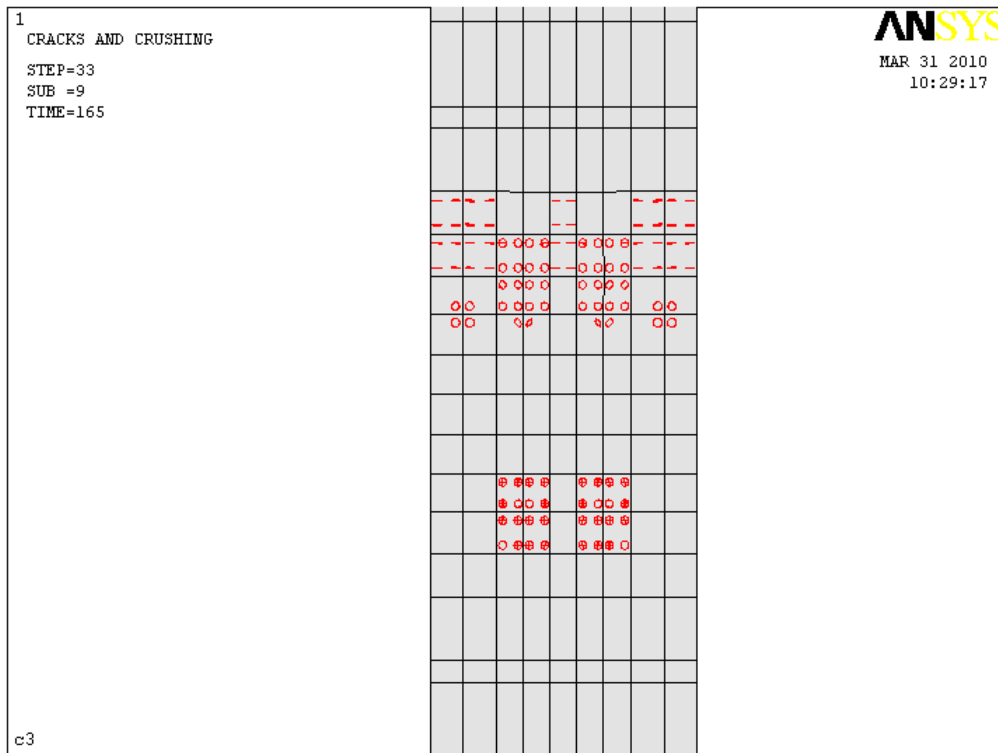
الشكل(3−18):أنماط التشققات عند تطبيق حمولة دورية P=-4500kg للوصلات (C_2,C_3).



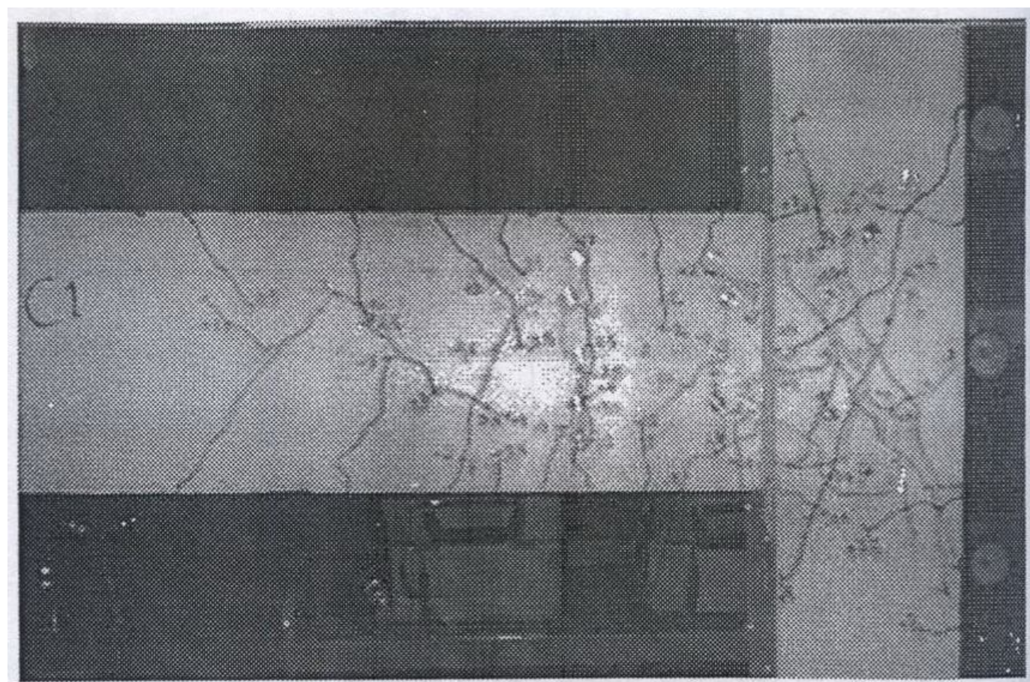


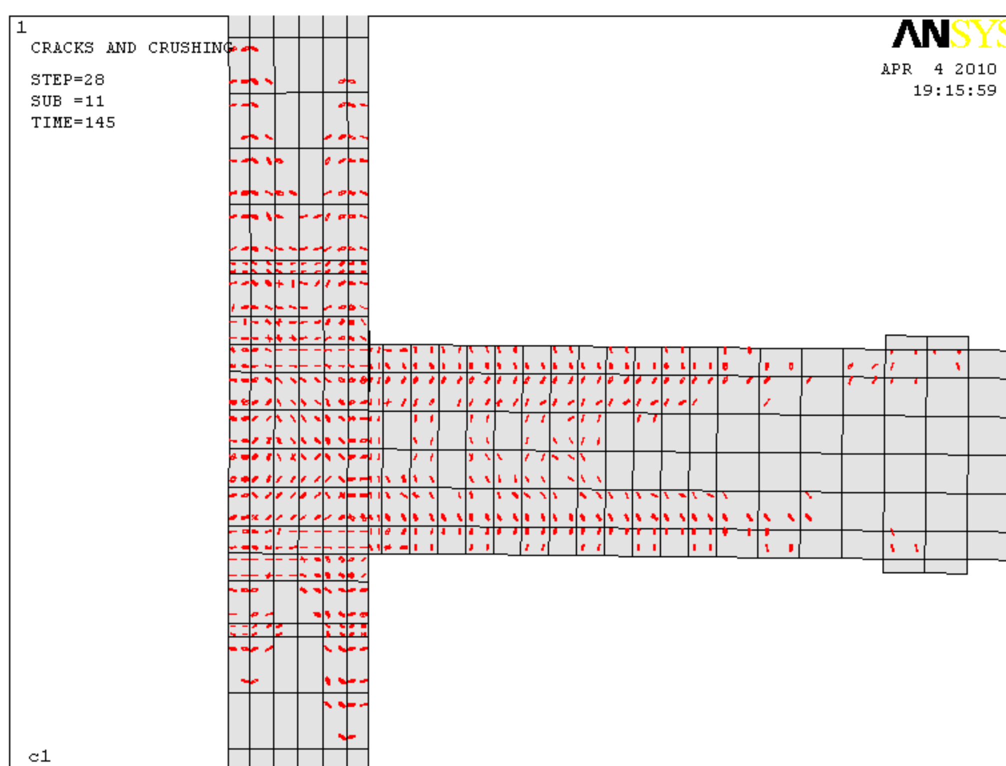
الشكل(3−19): أنماط التشققات في السطح الخارجي للعمود حيث P=4000 kg للوصلات (C_1,C_2).



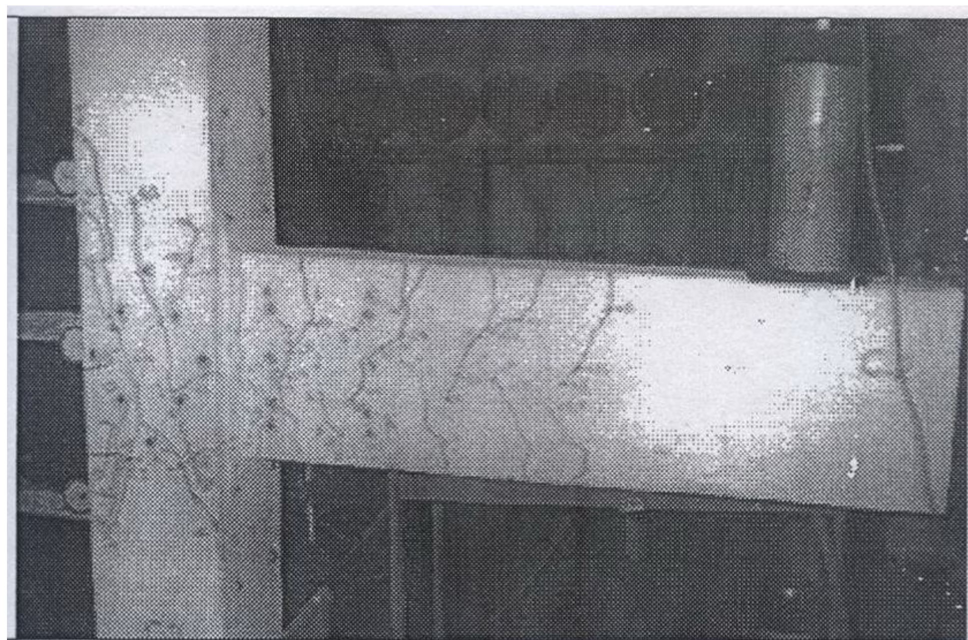


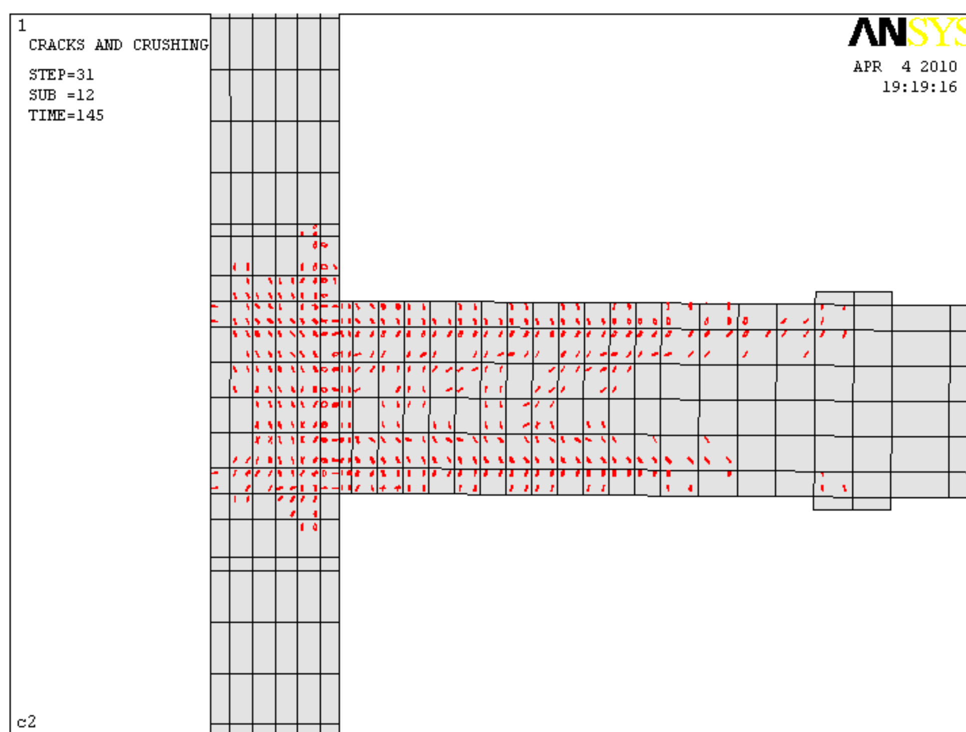
الشكل(3−20): أنماط التشققات في السطح الخارجي للعمود حيث P=4500 kg للوصلات (C_2,C_3).





الشكل(3−21):نمط التشققات في الوصلة C_1 عند تطبيق حمولة دورية P=4000kg.





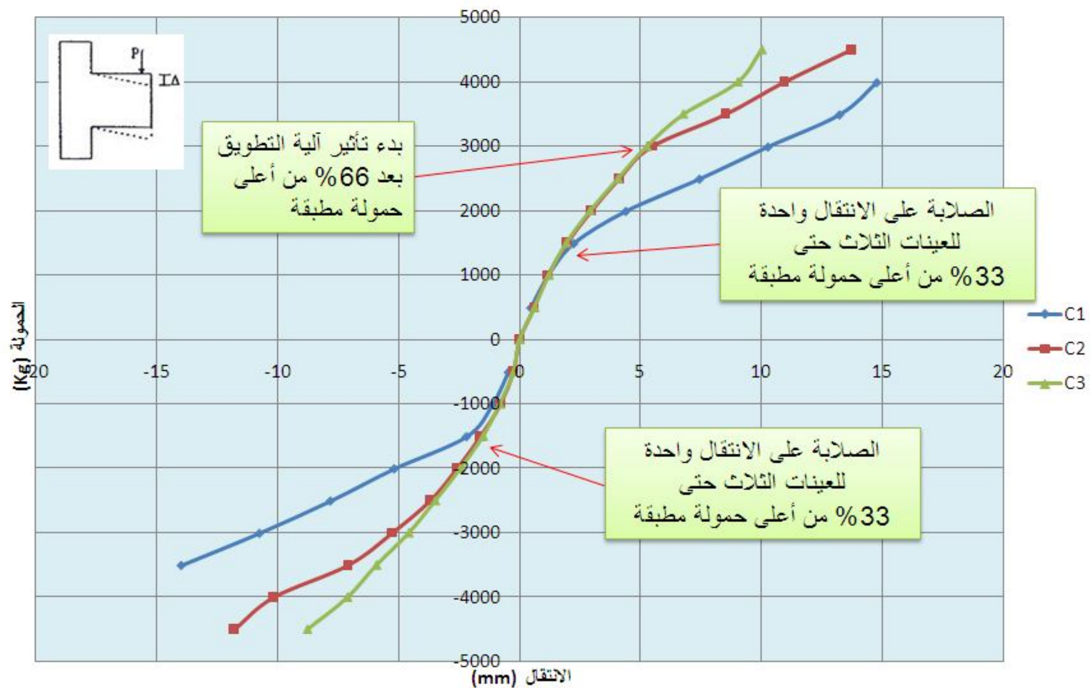
الشكل(3−22):نمط التشققات في الوصلة C_2 عند تطبيق حمولة دورية P=4000kg.

نلاحظ من خلال دراسة الشكلين (3−21) و(3−22)، توافق آلية نشوء التشققات المدروسة تحليلياً وفق برنامج ANSYS مع توزع التشققات في العينات المجربة في المخبر، وهذا التوافق يعتبر من البراهين التي تثبت فعالية الدراسة التحليلية وصلاحيتها.

3-3- دراسة الانتقال الحاصل في طرف الجائز:

(Study of the Displacement at the end of Beam)

يلاحظ من خلال دراسة مخطط (الانتقال- حمولة) (الشكل(3-23))، أنه في بداية التحميل يكون الانتقال واحد للعينات الثلاث (C_1,C_2,C_3)، وعند دورة التحميل السادسة يبدأ تأثير وجود الحمولة المحورية، حيث تنخفض صلابة الوصلة C_1 على الانتقال (تعاني انتقال أكبر) بشكل أكبر من (C_2,C_3) اللتين تظهران صلابة واحدة، وبعد دورة التحميل السادسة، بدء عمل آلية التطويق بالأساور في منطقة العقدة، حيث تنخفض صلابة الوصلة C_2 على الانتقال بشكل أكبر من العينة C_3.

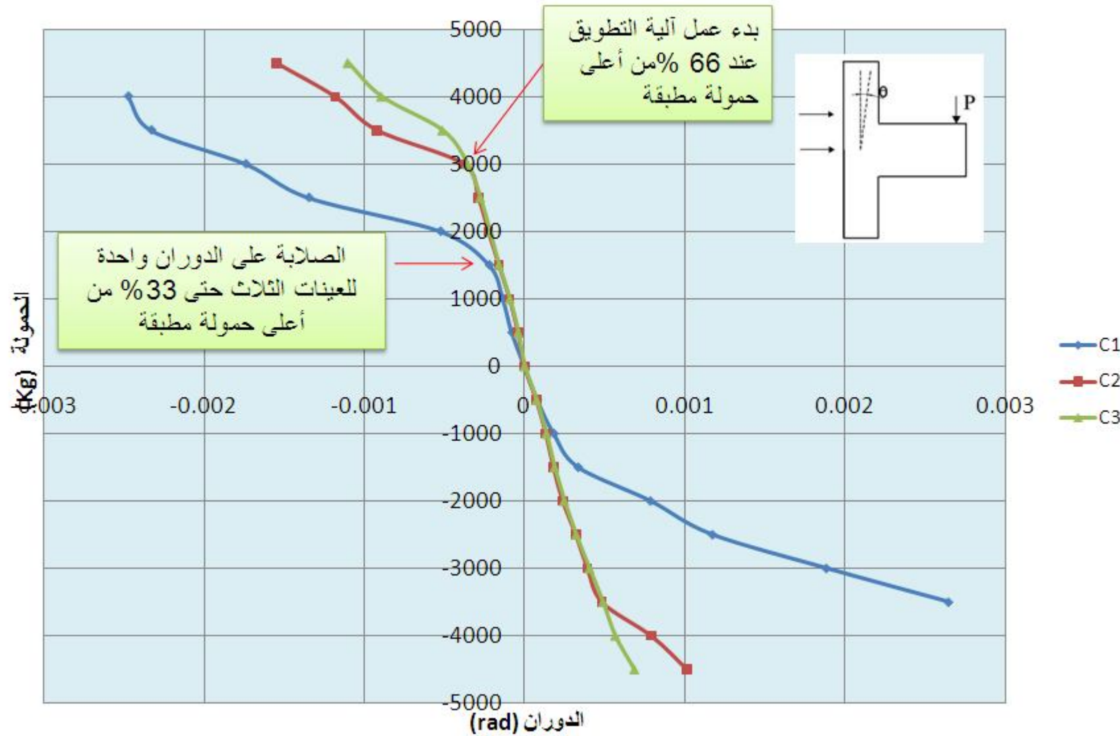


الشكل(3-23):مغلف مخططات (الانتقال – حمولة) للوصلات (C_1,C_2,C_3).

3-4- دراسة الدوران (Study of Rotation):

3-4-1- دراسة دوران مقطع العمود:

يلاحظ من خلال دراسة مخطط (الدوران- حمولة) الشكل(3-24)، أنه في بداية التحميل يكون الدوران واحد للعينات الثلاث (C_1,C_2,C_3)، حتى دورة التحميل الثالثة يبدأ تأثير وجود الحمولة المحورية، حيث تعاني العينة C_1 دوران أكبر من (C_2,C_3) اللتين تظهران دوران موحد، وبعد دورة التحميل السادسة، بدء عمل آلية التطويق بالأساور في منطقة العقدة، حيث تظهر العينة C_2 دوران أكبر من دوران العينة C_3.



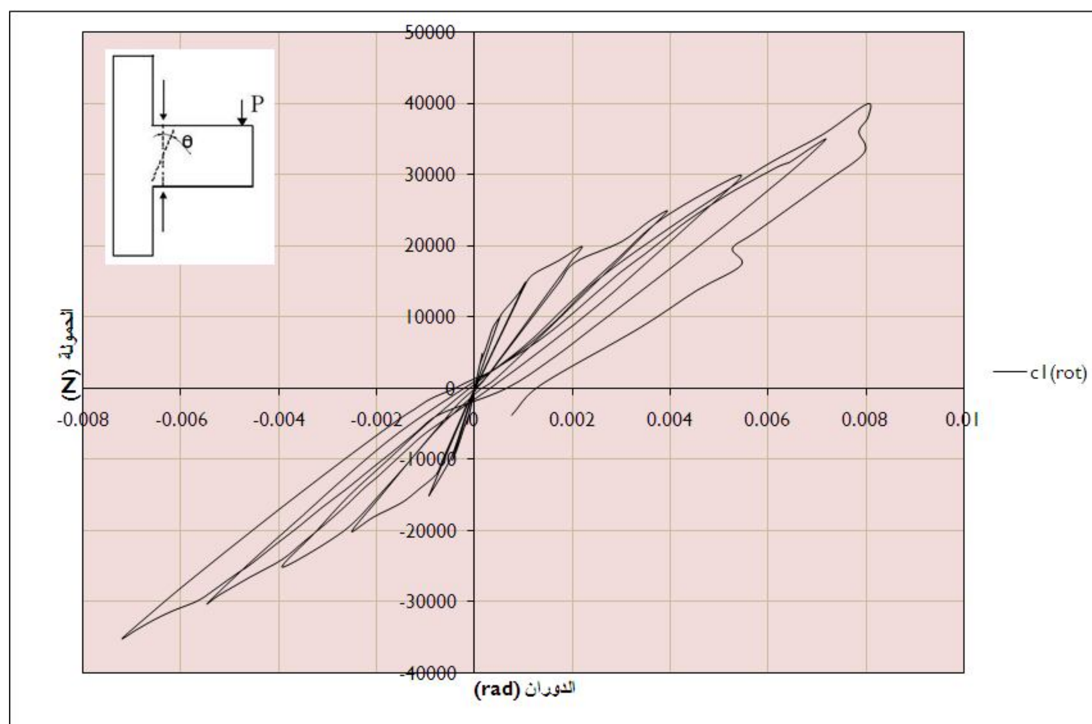
الشكل(3-24):مغلف مخططات (الدوران – حمولة) للوصلات (C_1,C_2,C_3).

3-4-2- دراسة دوران مقطع الجائز المجاور لوجه العمود:

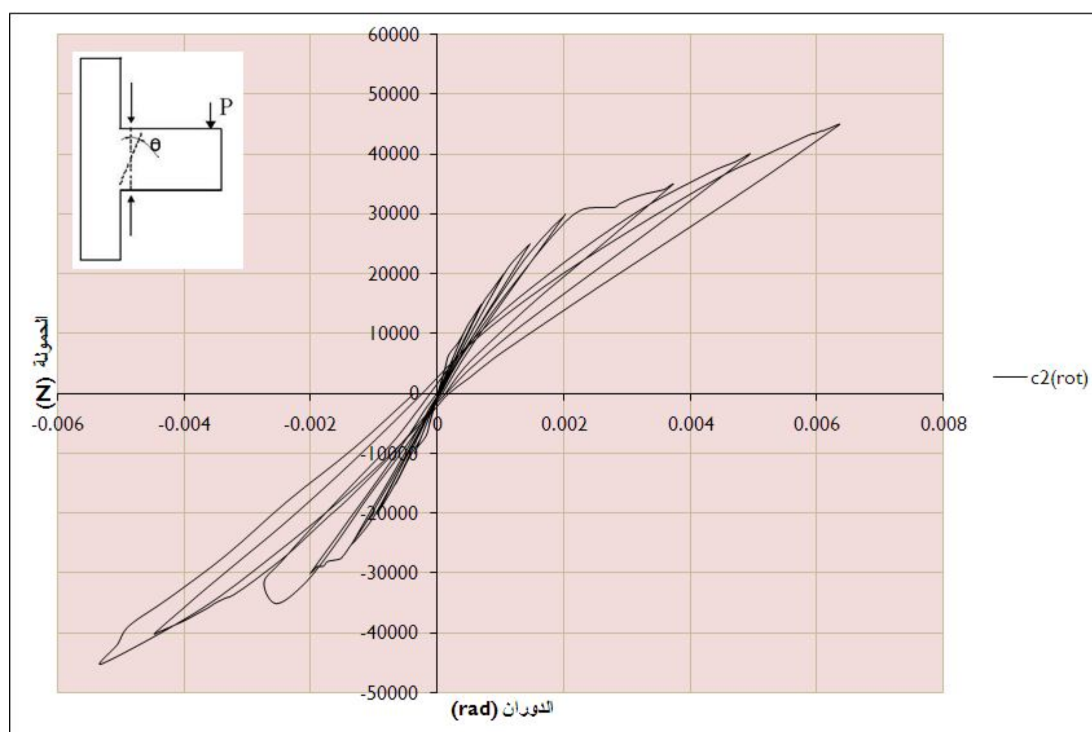
تظهر الأشكال (3-25)، (3-26)، (3-27)، مخططات (دوران- حمولة) لمقطع في الجائز مجاور لوجه العمود. ويلاحظ من مغلف هذه المخططات الشكل(3-28)، أنه في بداية التحميل يكون الدوران واحد للعينات الثلاث (C_1,C_2,C_3)، حتى دورة التحميل الثانية يبدأ تأثير وجود الحمولة المحورية، حيث تعاني العينة C_1 دوران أكبر من (C_2,C_3) اللتين تظهران دوران موحد، وبعد دورة التحميل السادسة، بدء عمل آلية التطويق بالأساور في منطقة العقدة، حيث تظهر العينة C_2 دوران أكبر من دوران العينة C_3.

3-4-3- مقارنة مغلف مخططات (دوران- حمولة) للجائز والعمود لكل من العينات الثلاثة المدروسة (C_1,C_2,C_3):

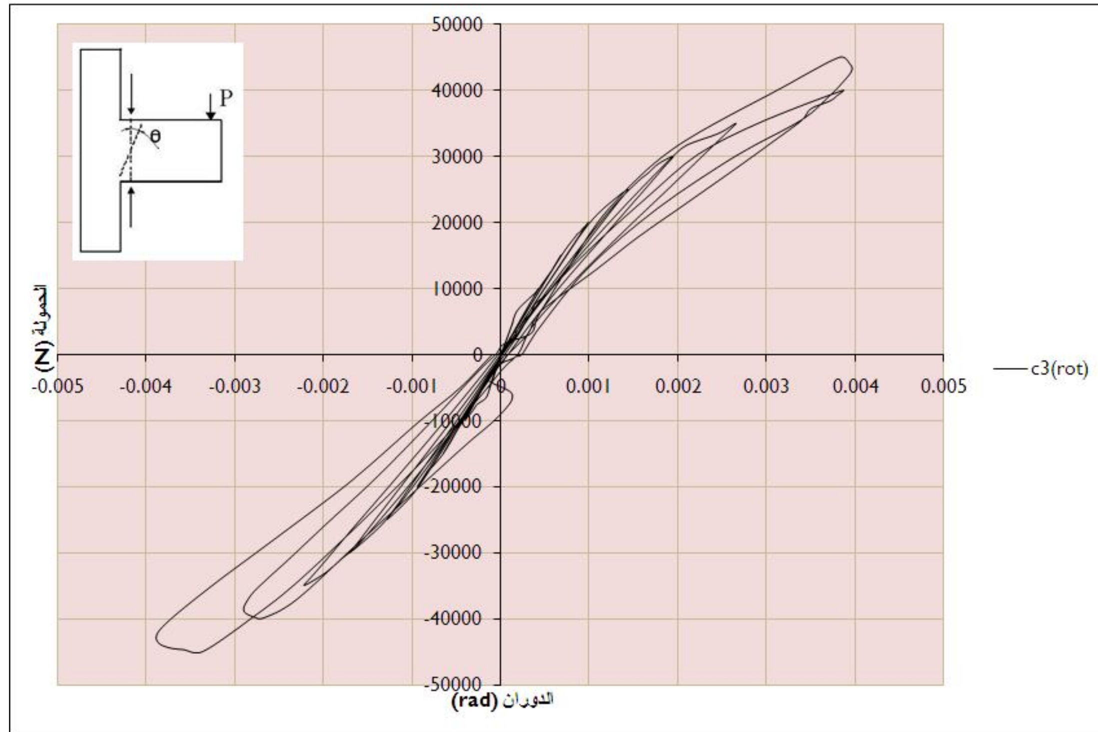
يلاحظ من خلال مقارنة مغلف مخططات (حمولة- دوران) للجائز والعمود (الأشكال (3-29)، (3-30)، (3-31)) للعينات (C_3,C_2,C_1) على الترتيب، أنه منذ بداية التحميل يكون الدوران في الجائز والعمود واحد، وبعد دورة التحميل الأولى تختلف زاوية دوران الجائز عن زاوية دوران العمود، ويزداد الفرق مع دورات التحميل اللاحقة، حيث تكف العقدة عن كونها صلبة مع زيادة الحمولة.



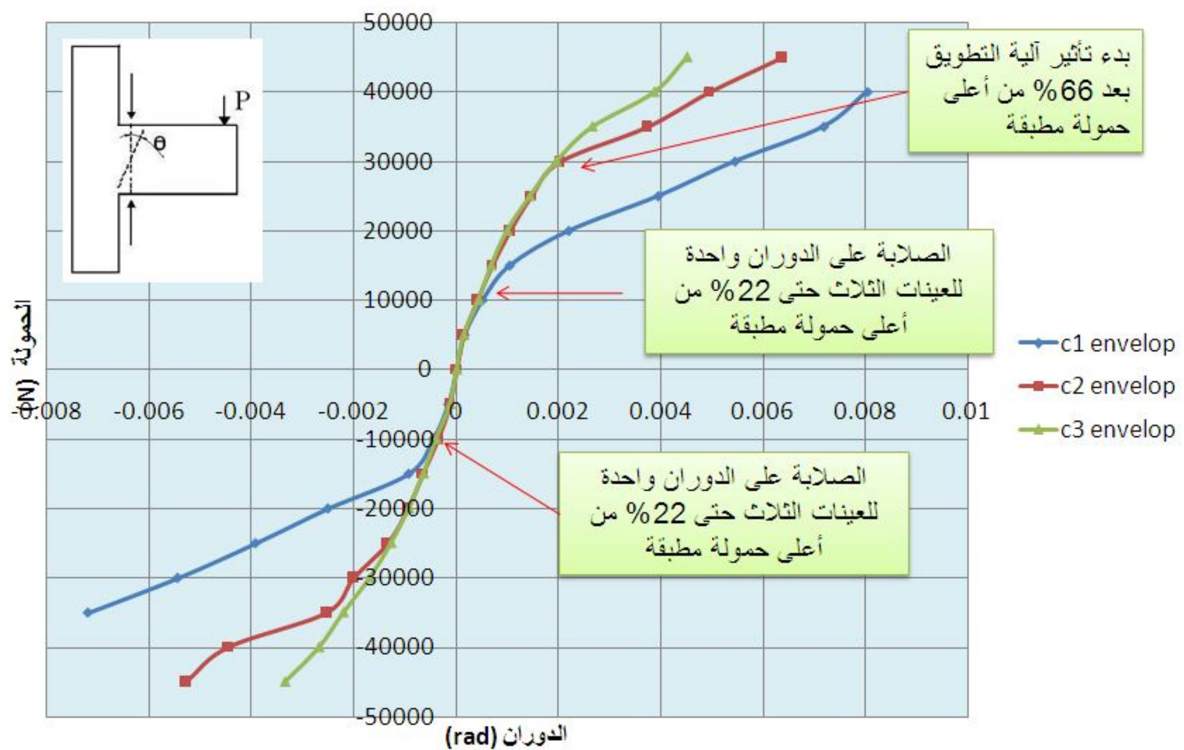
الشكل(3-25):مخطط (الدوران – الحمولة) للوصلة (C_1).



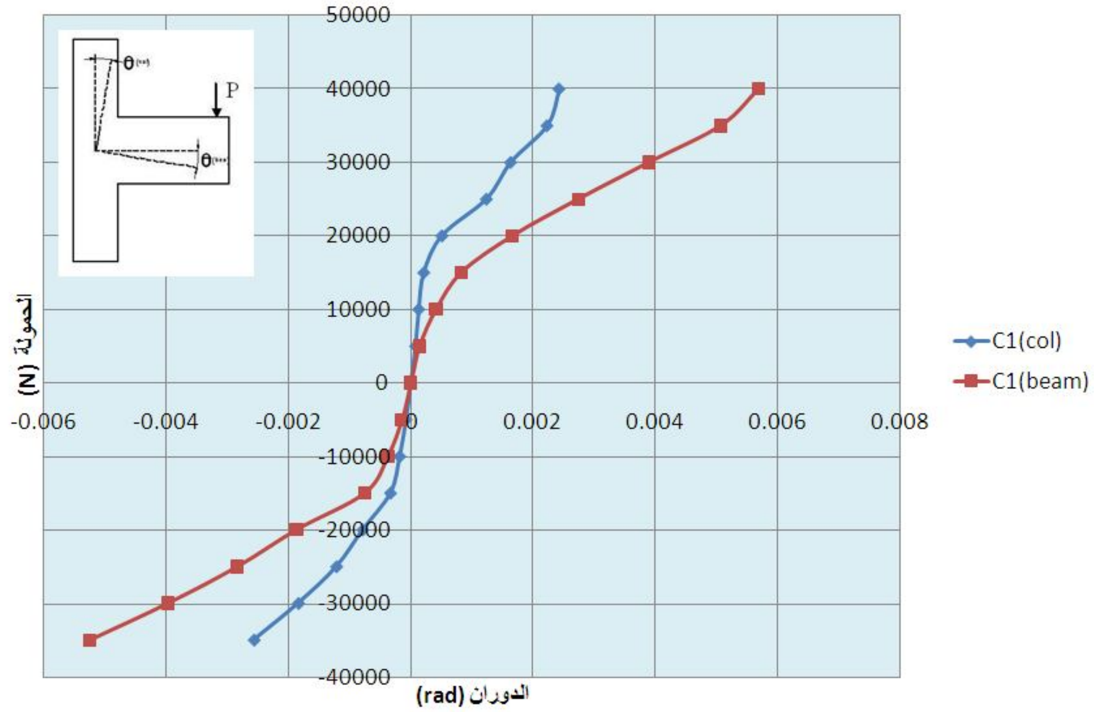
الشكل(3-26):مخطط (الدوران – الحمولة) للوصلة (C_2).



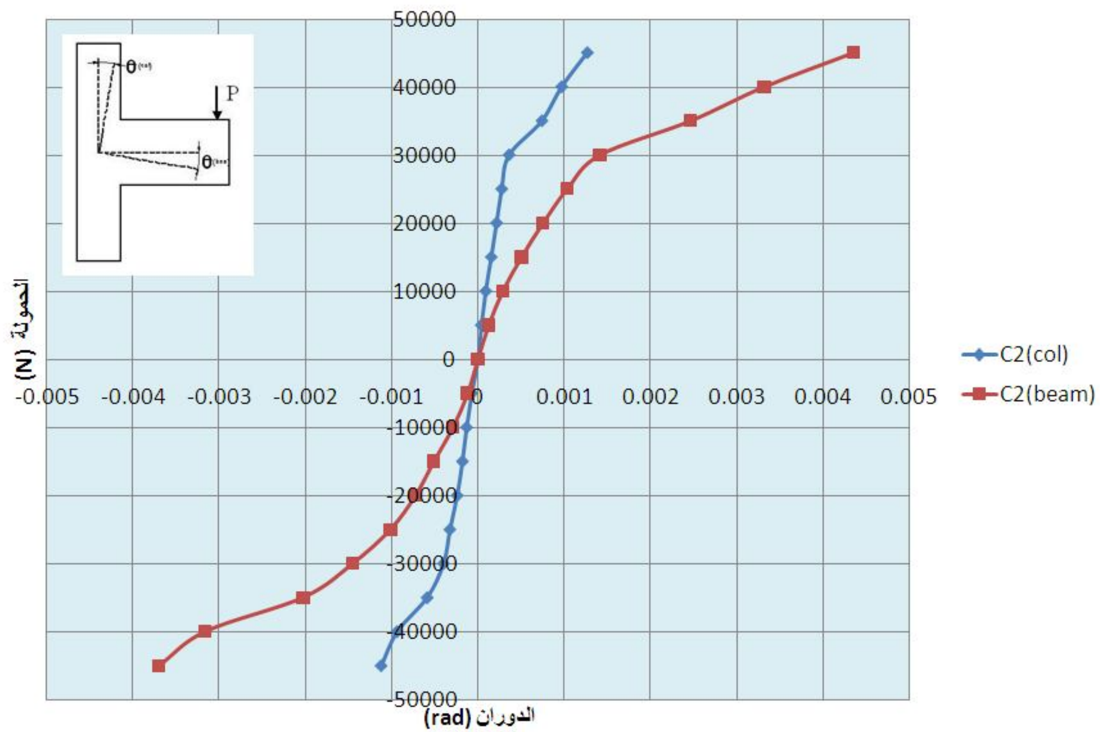
الشكل(3−27):مخطط (الدوران − الحمولة) للوصلة (C_3).



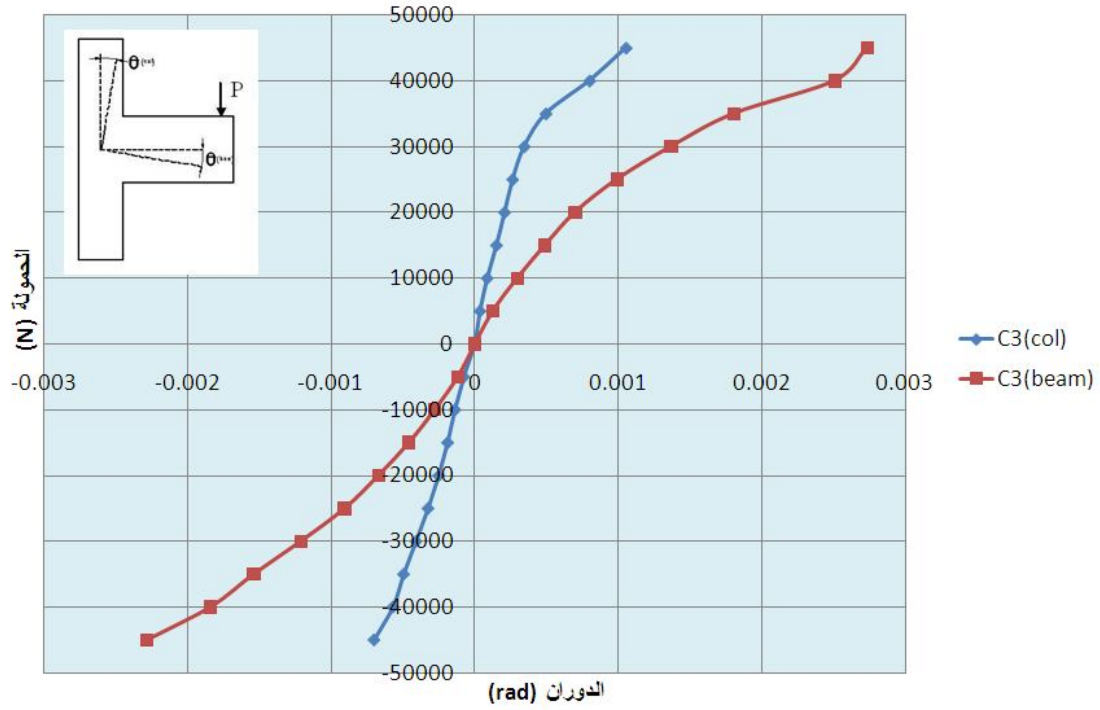
الشكل(3−28):مغلف مخططات (الدوران − حمولة) للوصلات (C_1,C_2,C_3).



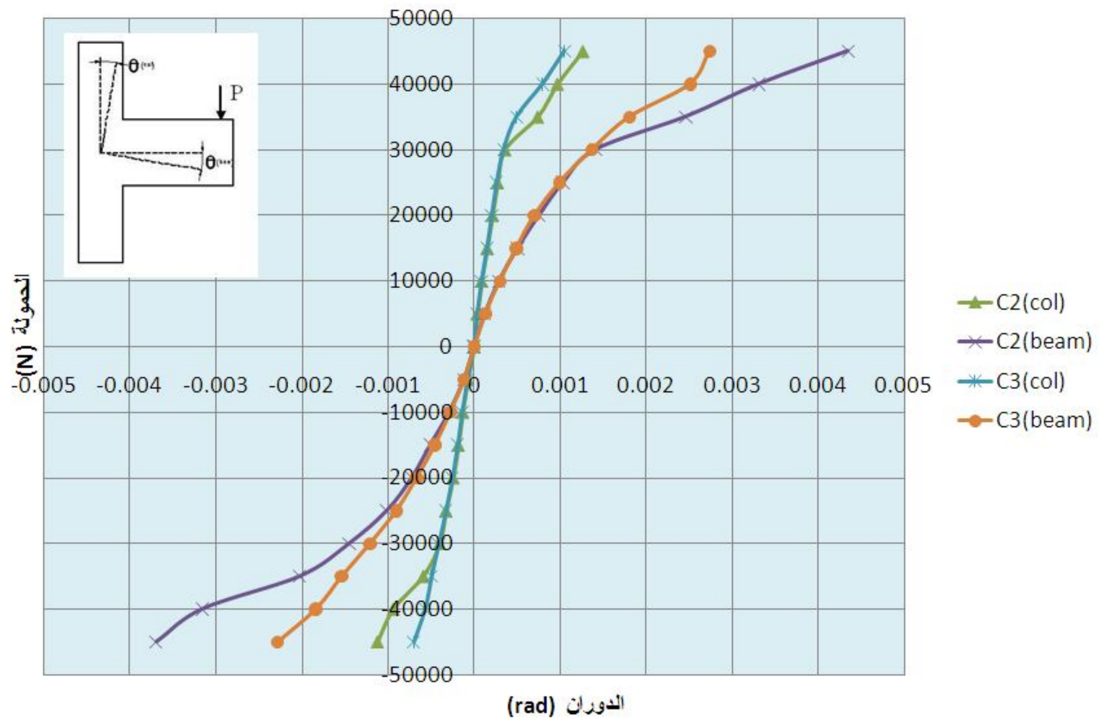
الشكل(3–29): مغلف مخطط (الدوران – حمولة) للجائز والعمود للوصلة (C_1).



الشكل(3–30): مغلف مخطط (الدوران – حمولة) للجائز والعمود للوصلة (C_2).



الشكل(3−31): مغلف مخطط (الدوران – حمولة) للجائز والعمود للوصلة (C_3).

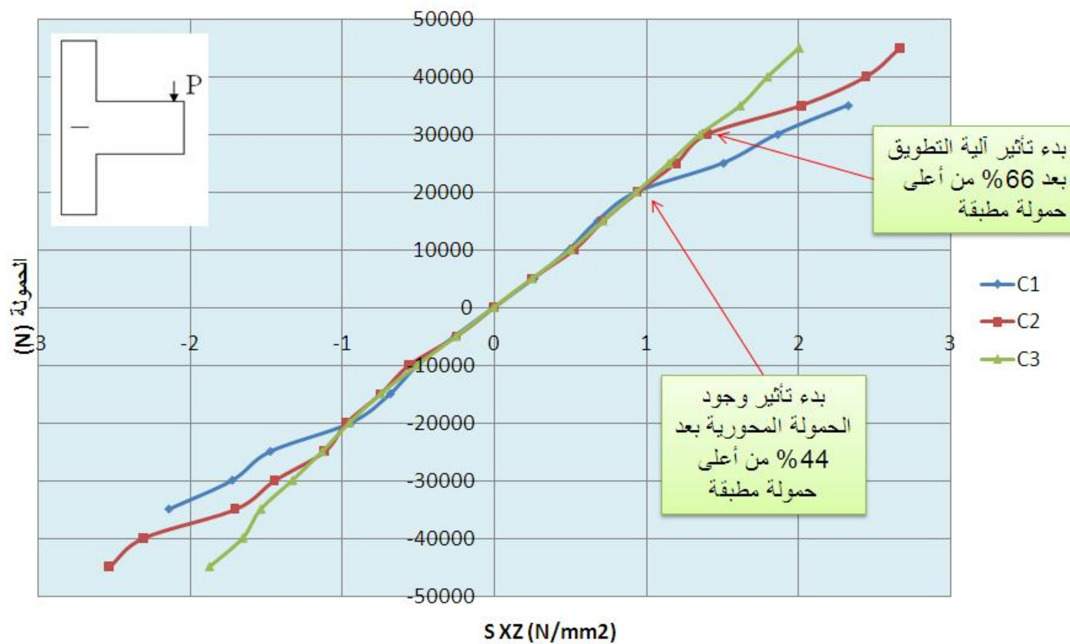


الشكل(3−32): مقارنة مغلف مخطط (الدوران – حمولة) للجائز والعمود للوصلة (C_3,C_2).

3-5- دراسة القص في العقدة (Study of Shear at the Joint):

3-5-1- مقارنة إجهاد القص المتوسط للعينات (C_3,C_2,C_1):

يلاحظ من خلال دراسة مخطط (إجهاد القص المتوسط- حمولة) (الشكل(3-33))، أنه منذ بداية التحميل يكون إجهاد القص المتوسط واحد للعينات الثلاث، حتى دورة التحميل الرابعة يبدأ تأثير وجود الحمولة المحورية، حيث تعاني العينة C_1 إجهاد قص أكبر من (C_2,C_3) اللتين تتعرضان لإجهاد قص موحد، وحتى دورة التحميل السادسة يبدأ عمل آلية التطويق بالأساور في منطقة العقدة، حيث تظهر العينة C_2 إجهاد قص أكبر من العينة C_3.



الشكل(3-33): مخطط (إجهاد القص المتوسط- حمولة) للوصلات (C_1,C_2,C_3).

3-5-2- حساب القص الأعظمي في العقدة وفق (ACI 352-02) [1]:

يبين الشكل(3-34) أبعاد كل من مقطع العمود والجائز للعينات الثلاثة، $f_c' = 30\ MPa$ ، $f_y = 389.5\ MPa$ ، التسليح الطولي للعمود 4Ø16 ، أما تسليح الجائز العلوي 2Ø19 والسفلي 2Ø19.

حساب العزم المقاوم للجائز:

$$a = \frac{A_s * f_y}{0.85 * f_c' * b} = \frac{5.67*3895}{0.85*300*12.5} = 6.93\ cm$$

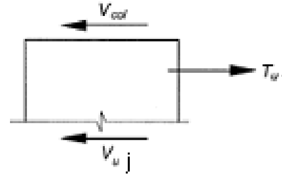
$$M_b = A_s * f_y * \left(d - {}^{a}/_{2}\right) = 5.67 * 3895 * \left(25 - {}^{6.93}/_{2}\right)$$

$$M_b = 4756\ Kg.m$$



الشكل(3–34): أبعاد مقطع العمود والجائز للعينات الثلاثة.

حساب القص في العقدة: $V_{uj} = T_{u1} - V_{col}$



$$V_{col} = \frac{\propto * M_b}{H} = \frac{1.25*4756}{1.25} = 4756\ Kg$$

$$T_{u1} = A_{s1} * \propto * f_y = 5.67 * 1.25 * 3895 = 27600\ Kg$$

$$V_{uj} = 27606 - 4756 = 22850\ Kg$$

تحديد العرض الفعّال للعقدة:

$$\left.\begin{array}{r} b_j = \frac{1}{2} * (b_b + b_c) = \frac{1}{2} * (25 + 12.5) = 18.75\ cm \\ b_j = b_b + \frac{h}{2} = 12.5 + \frac{20}{2} = 22.5\ cm \end{array}\right\} b_j = 18.75\ cm$$

حساب إجهاد القص الأعظمي في العقدة:

$$\tau_{uj} = \frac{V_{uj}}{b_j * h} = \frac{228500}{187.5*200} = 6\ N/mm^2$$

بما أن هذه العقدة تتصل بجائز واحد سندققها وفق (ACI 352−02) على أنها عقدة ركنية:

$$V_{nj} = 1.0 * \sqrt{f_c'} * b_j * h\ (MPa) = 205396\ N$$

$$\emptyset V_{\mathrm{nj}} = 0.85 * 205396 = 174587\ N\ \leq V_{uj}$$

وبالتالي هذه العقدة غير محققة.

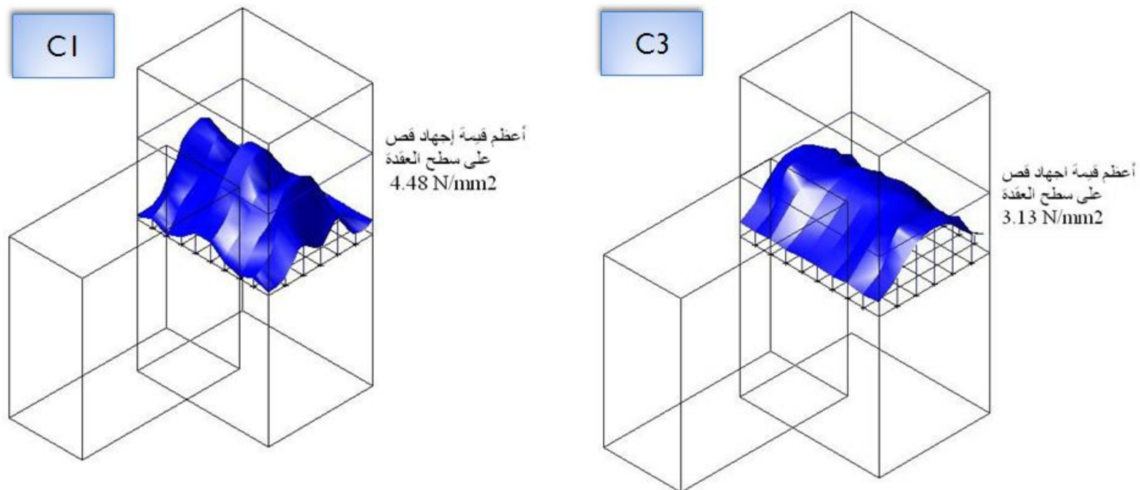
حساب إجهاد القص المسموح وفق (ACI 352−02):

$$\tau_{nj} = \frac{174587}{18.75*20} = 4.66\ \ N/mm^2$$

نلاحظ من خلال دراسة قيم القص المتشكل في العقدة الشكل(3−34)، أن هذه القيم لم تتجاوز إجهاد القص المسموح به وفق (ACI 352−02).

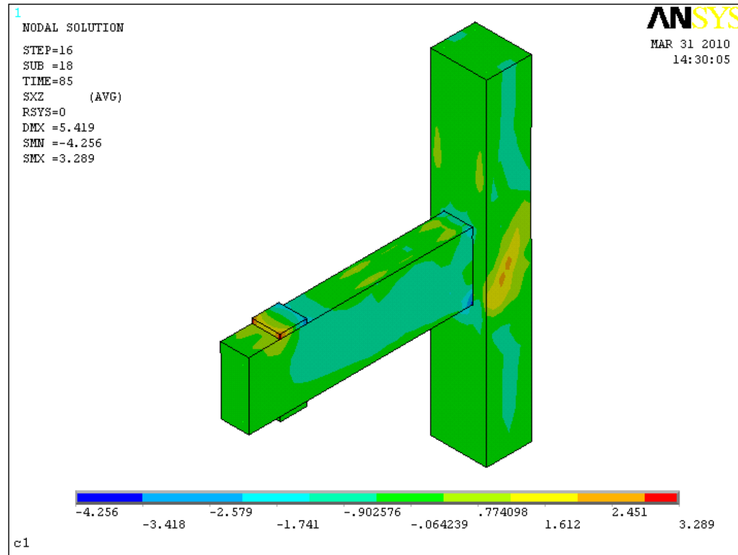
3−5−3− دراسة توزع القص على سطح العقدة:

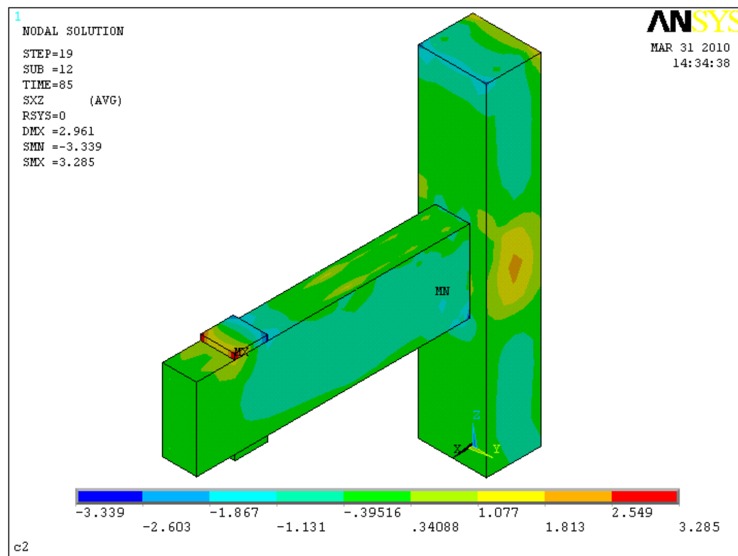
يبين الشكل (3−35) توزع القص على سطح العقدة، حيث أن وجود التطويق والحمولة المحورية على العمود يجعل توزع القص على سطح العقدة أكثر انتظاماً ويساعد في تخفيض قيمة هذا الإجهاد.

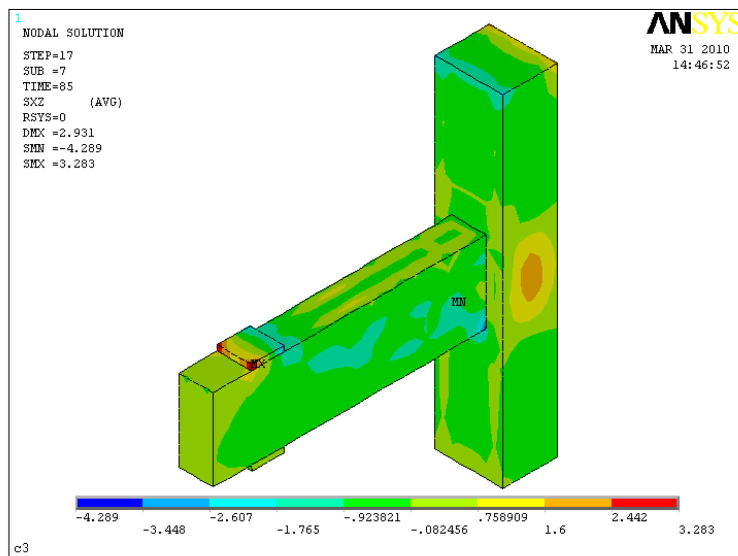


الشكل(3−35): توزع إجهاد القص على سطح العقدة في دورة التحميل الثامنة.

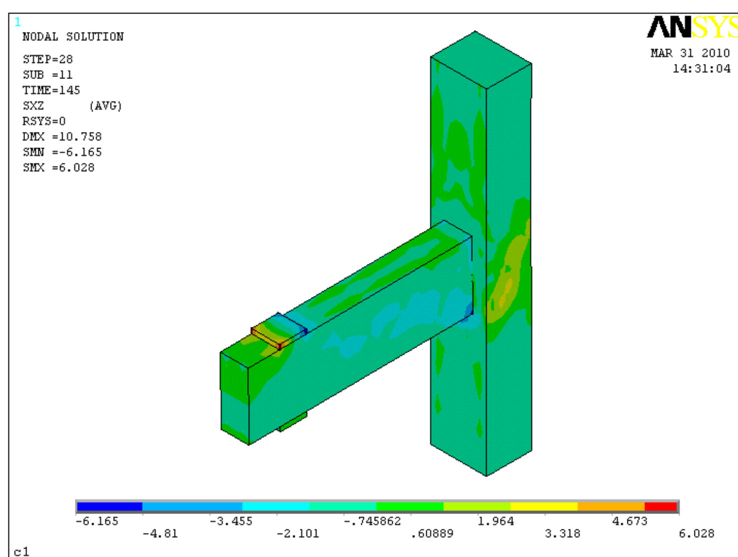
تبين الأشكال الآتية توزع إجهاد القص على كامل الوصلة وفق برنامج التحليل (ANSYS).

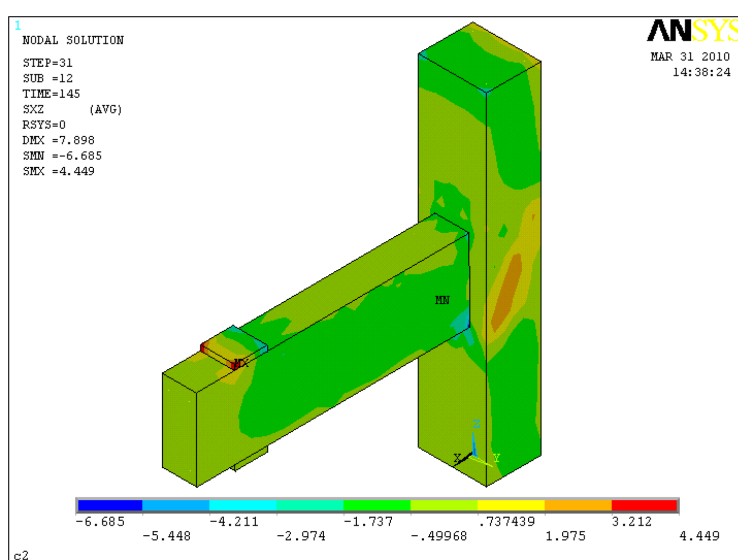


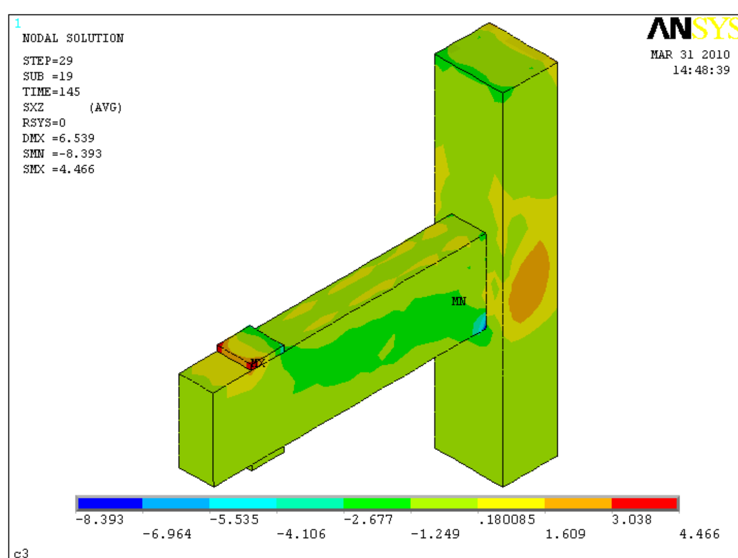




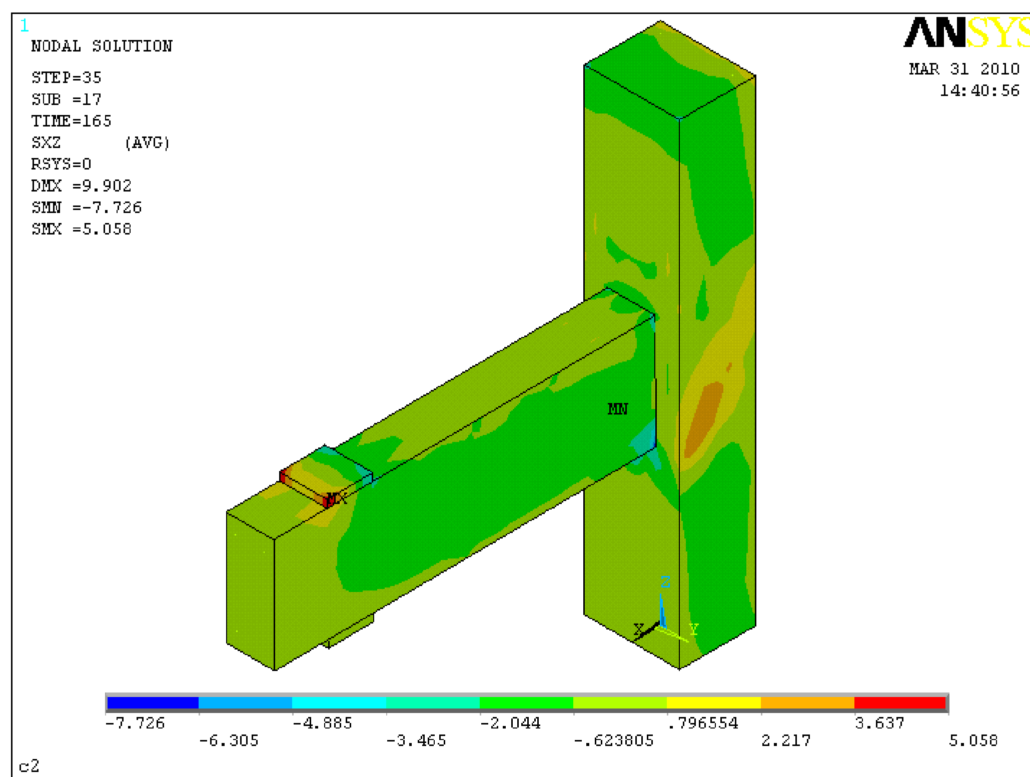
الشكل(3-36): توزع إجهاد القص في دورة التحميل الخامسة.

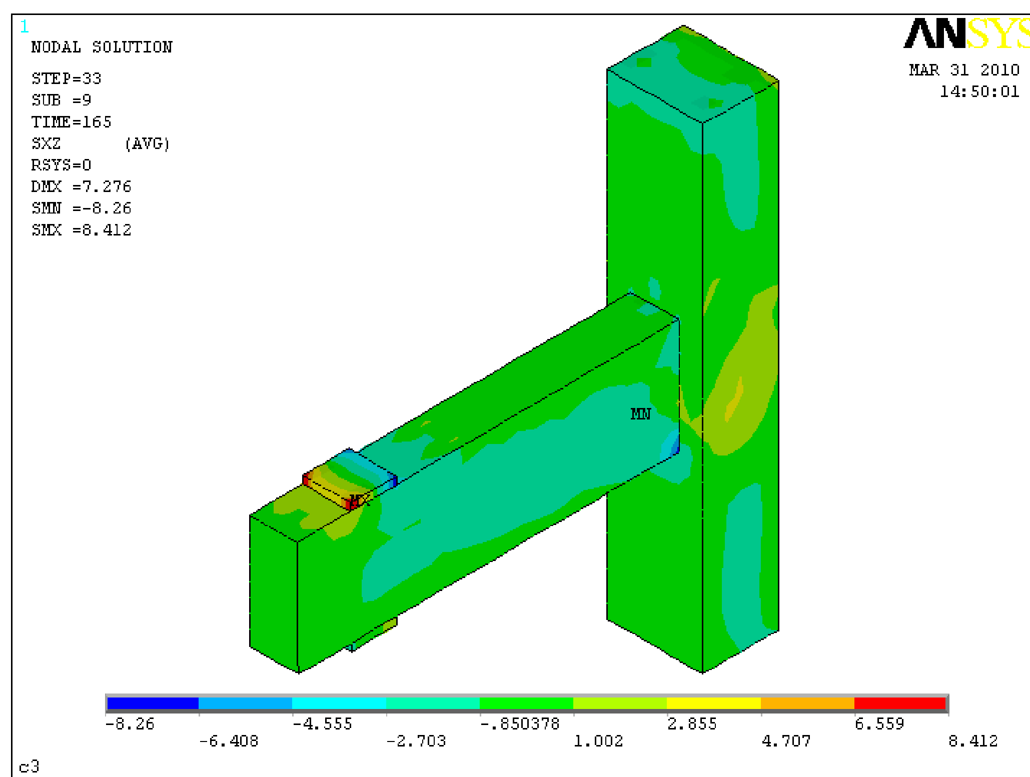






الشكل(3−37): توزع إجهاد القص في دورة التحميل الثامنة.





الشكل(3−38): توزع إجهاد القص في دورة التحميل التاسعة.

الاستنتاجات

1- فعالية الحمولة المحورية على العمود:

- تخفض التشققات في منطقة العقدة وهي حمولة موجودة فعلياً على العمود حيث تقوم بتحسين عمل آلية الجذوع البيتونية القطرية المضغوطة (Strut) عن طريق زيادة عمق المنطقة المضغوطة في العمود (الفقرة (3-2)).
- تخفض الانتقال الحاصل في طرف الجائز ويبدأ تأثيرها بعد 33% من أعلى حمولة مطبقة، وكذلك الدوران الحاصل في العمود ويبدأ تأثيرها بعد (33%) وللجائز (22%) وبالتالي زيادة قدرة العقدة على تحمل حمولات أعلى (زيادة الصلابة على الانتقال والدوران) (3-3 و3-4).
- تخفض إجهاد القص في العقدة نتيجة عملها على تحسين آلية نقل القص وتحافظ على بيتون العقدة سليماً لدورات تحميل أعلى يبدأ تأثيرها بعد 44% من أعلى حمولة مطبقة (3-5).

2- فعالية آلية التطويق:

- تعمل الأساور على تطويق العقدة وبالتالي تخفّض التشققات وتحافظ على البيتون سليماً لدورات تحميل أعلى (3-2).
- تخفّض الانتقال الحاصل في طرف الجائز والدوران الحاصل في العمود والجائز ويبدأ تأثيرها بعد (66%) وبالتالي زيادة قدرة العقدة على تحمل حمولات أعلى (زيادة الصلابة على الانتقال والدوران) (3-3 و3-4).
- تخفض إجهاد القص نتيجة عملها ضمن آلية الجائز الشبكي (Truss) في نقل القص، ويبدأ تأثيرها بعد (66%) من أعلى حمولة مطبقة (3-5).

3- تساعد الأساور والحمولة المحورية على العمود في توزع إجهاد القص على سطح مقطع العقدة بشكل منتظم نوعاً ما وذات قيمة أقل بحوالي 30% من حالة عدم التطويق (3-5-3).

4- أعطى تحليل العينات وفق برنامج ANSYS مخططات انتقالات ودورانات متناسبة ومنسجمة أكثر من الاختبار التجريبي، ويظهر ذلك من خلال شذوذ بعض العينات المجربة عن شكل السلوك العام لمنشأ معرض لحمولة دورية.

5- توافق آلية نشوء التشققات للعينات المدروسة تحليلياً وفق برنامج ANSYS مع توزع التشققات في العينات المجربة في المخبر (الشكل (3-21) والشكل (3-22).

6- أعطت العينات المدروسة تحليلياً إجهاد قص متوسط يتراوح بين N/mm^2 2-3 أصغر من ذلك المحسوب وفق توصيات ACI المساوي إلى N/mm^2 6 مما يعني أن القيم التصميمية تعطي أمان كبير (الشكل (3-33)).

التوصيات

1- الاهتمام بوضع الأساور ضمن العقدة لكي تعمل هذه العقدة بشكل سليم وتؤمن نقل الحمولات ضمن الإطار المقاوم للعزوم (Moment Resisting Frame)، ويمكن في دراسات لاحقة تحديد نسبة الأساور المطلوبة حسب أبعاد العمود وحسب الحمولة الخاضعة لها المنشأة.

2- الأخذ بالاعتبار وجود الحمولة المحورية على العمود ضمن الدراسات إذ لا يوجد عملياً وصلة طرفية أو داخلية يكون فيها العمود غير محمل بحمولة محورية. ويمكن في دراسات لاحقة تحديد سلوك الوصلات في حال كانت حمولة العمود لامركزية.

3- العمل على لفت الانتباه أثناء دراسة المنشآت الهيكلية أن العقد لا تبقَ صلبة وقد ظهر ذلك معنا من خلال فرق الدوران الحاصل بين الجائز والعمود، ويمكن في دراسات لاحقة وضع نماذج ميكانيكية لتحديد الصلابة على الدوران لكل نوع من الوصلات حسب تسليحها وحسب أبعاد مقاطع الجوائز والأعمدة المشكلة لها.

ملخص البحث

يتناول بحثنا هذا دراسة تحليلية تهدف إلى دراسة سلوك وصلات جائز- عمود طرفية تحت تأثير الحمولات الزلزالية، وتمت دراسة هذا السلوك تحت تأثير بارامترين هما الحمولة المحورية على العمود وتطويق منطقة العقدة بالأساور، حيث تم اختيار برنامج تجريبي وعمل محاكاة ونمذجة لثلاث عينات وصلات جائز- عمود طرفية، باستخدام برنامج عناصر منتهية متطور (ANSYS 11)، وتم الحصول على نتائج متوافقة ومتجانسة مع السلوك العام للعينات تحت تأثير حمولة دورية محاكية للحمولات الزلزالية، وقد أعطت الدراسة التحليلية للسلوك أن وجود هذين البارامترين يحسّن سلوك الوصلات ويؤخر ظهور التشققات في نواة العقدة وهو الأمر المرغوب به عند تصميم العقد في الإطارات المقاومة للزلازل، ويزيد من صلابة الوصلة على الدوران والانتقال، كما يخفّض قيمة القص في العقدة ويجعل توزعه أكثر انتظاماً.

كلمات مفتاحية

بيتون مسلّح، عقدة جائز- عمود، أحمال زلزالية، توزع القص، التشققات، الدوران، الانتقال، طريقة العناصر المنتهية.

ABSTRACT

Our subject is an analytical research, aims to study the behavior of exterior Beam- Column connections under the effect of seismic loads, this behavior was studied under the effect of two parameters, the axial load on the column and the confinement of joint region with ties, so we chose experimental programs then made simulation and modeling of three specimens of exterior Beam- Column connections, by using advanced finite element program (ANSYS 11), the results were compatible and homogeneous with general behavior of specimens were subjected to cyclic load which simulated to seismic loads, the analytical study of the behavior gave that the presence of these parameters improves the behavior of connections, and delays the appearance of cracks at the joint core, and that is the desired aim at the design of joints in the Moment Resisting Frames, and increases the stiffness of connection to rotation and displacement, as decreases the value of shear at joint and make its distribution more uniformly.

Key Words

Reinforced Concrete, Beam- Column joints, Seismic Loads, Shear Distribution, Cracks, Rotation, Displacement, Finite Elements Method.

المراجع الأجنبية

[1] ACI 352R-02, ”Recommendations for Design of Beam- Column Connections in Monolithic Reinforced Concrete Structures”, American Concrete Institute, ACI-ASCE Committee 352,2002.

[2] ACI-ASCE committee 352, "Recommendations for Design of Beam-Column Joints in Monolithic Reinforcement Concrete Structures", ACI Journal, Proceedings Vol. 82, No. 3, May-June 1985, pp:266-283.

[3] ACI 318-02, "Building Code Requirements for Structural Concrete", American Concrete Institute, 2002.

[4] ANSYS, “ANSYS Users Manual Revision 11”, Ansys,Inc., Canonsburg , Pennsylvania ,2005.

[5] Bakir, P.G., “ Seismic Resistance and Mechanical Behavior of Exterior Beam- Column Joints with Crossed Inclined Bars”, Structural Engineering and Mechanics, Vol. 16, No. 4, 2003, pp: 493-517.

[6] Bindhu, K.R., and Jaya, K.P., “Performance of Exterior Beam Column Joints with Cross-Inclined Bars under Seismic Type Loading”, Journal of Engineering and Applied Science, Vol. 3, Issue. 7, 2008, pp: 591-597.

[7] Bitar, M.A., ” Behavior of R/C Beam- Column Joints Under Simulated Seismic Load”, Master Thesis, Faculty of Engineering Cairo University, 2001.

[8] Booth, E., Kappos, J., and Park, R., "A Critical view of international Practice on Seismic Design of Reinforced Concrete Buildings", the Institution of Structural Engineers, Vol. 76, No. 11, 1998, pp: 213-220.

[9] CEB, Bulletin No.231. (1996), "RC Frames under Earthquake Loading", Model Code for Seismic design, (printed revised hardbound edition of Bulletin 220), Telford, London, Chapter 3, pp: 138-165.

[10] CEN. EN1998-1 :2004 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance. Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. Brussels.

[11] Chen, C.C., and Chen, G.K., “Cyclic Behavior of Reinforced Concrete Eccentric Beam- Column Corner Joints Connecting Spread- Ended Beam”, ACI Structural Journal, Vol. 96, Issue. 3, 1999, pp: 443-449.

[12] Cheung, P.C., Paulay, T., and Park, R., ”Behavior of Beam- to- Column Joints in Seismically- Loaded RC Frames", The Institution of Structural

Engineers (Journal of Structural Engineer), Vol. 71, Issue. 8, 1993, pp: 129-138.

[13] Cheung, P.C., Paulay, T., and Park, R., "Interior and Exterior Reinforced Concrete Beam- Column Joints of a Prototype Tow- Way Frame with Floor Slab Designed for Earthquake Resistance", Research Report 89-2, Department of Civil Engineering , University of Canterbury, ChristChurch, New Zealand, 165P.

[14] Ehsani, M.R., and Wight, J.K., ”Exterior Reinforced Concrete Beam to Column Connections Subjected to Earthquake- Type Loading”, ACI Journal/ July-August, 1985, pp: 492- 499.

[15] Haach, V.G. et al., ”Evaluation of the Influence of The Column Axial Load on The Behavior of Monotonically Loaded R/C Exterior Beam- Column Joints Through Numerical Simulations”, Engineering Structures, Elsevier Science Publishers Ltd., London ,England ,30(4), 2008, pp: 965- 975.

[16] Lee, J-Y., Kim, J-Y., and Oh, G-J., “Strength Deterioration of Reinforced Concrete Beam- Column Joints Subjected to Cyclic Loading”, Engineering Structures, Elsevier Science Publishers Ltd., London ,England ,2009.

[17] Masi, A. et al., "Capacity Models of Beam- Column Joints: Provisions of European and Italian Seismic Codes and Possible Improvements", E. Cosenza(ed), Eurocode 8 Perspectives from the Italian Standpoint Workshop, ©2009 Doopiavoce, Napoli, Italy, pp: 145-158.

[18] Menin, R.C.G., Trautwein, L.M., and Bittencourt, T.N., "Smeared Crack Models for Reinforced Concrete Beams by Finite Element Method", Ibracon Structures and Materials Journal, Vol. 2, No. 2, (June,2009), pp: 166-200.

[19] Naeim, F., The Seismic Design Handbook, Second Edition. Kluwer Academic Press, Norwell, MA, Chapter 10, pp: 472-519.

[20] Park, R., ”A Summary of Results of Simulated Seismic Load Tests on Reinforced Concrete Beam- Column Joints, Beam And Column with Substandard Reinforcing Details”, Journal of Earthquake Engineering, Vol. 6 ,No. 2 , 2002, pp: 147- 174.

[21] Paulay, T., and Priestley, M.J.N., ”Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings”, New York: John Wiley and Sons, Inc, 1992.

[22] Penelis, G.G., and Kappos, J., “Earthquake- Resistant Concrete Structures “ , London: E& Fn Spon, 1997.

[23] Popov, E.P., "Bond and Anchorage of Reinforcing Bars under Cyclic Loading", ACI Journal/ July- August, 1984, Vol. 81, No. 4, pp: 340-349.

[24] Rabczuk, T., Belytschko, T., " An adaptive continuum /discreet crack approach for mesh free particle methods", Latin American Journal of Solids and Structures, Vol. 1, No. 1, 2003, pp: 141-166.

[25] SANZ (Standards Association of New Zealand) (1982) (a) Code of Practice for the Design of Concrete Structures (NZS 3101- Part 1: 1982); (b) Commentary on Code of Practice for the Design of Concrete Structures (NZS 3101- Part 2: 1982), Wellington.

[26] Scott, R.H., Hamil, S.J., and Baglin, P.S., "Behavior of High Strength Concrete Beam- Column Connections", In: Proceedings of Second International Conference on High- Performance Concrete, Performance and Quality of Concrete Structures, 1999, pp: 699- 713.

[27] Shiohara, H., "Quadruple Flexural Resistance in R/C Beam- Column Joints", 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, 2004, Paper No. 491.

[28] Sirkelis, G.M., "Seismic Behavior of Reinforced Concrete Columns with Rectangular Spiral Shear Reinforcement", Doctoral Thesis, Democritus University of Thrace, Xanthi, Greece, GR, 2005.

[29] Uma, S.R., and Prasad, A.M., "Seismic Behavior of Beam Column Joints in Reinforced Concrete Moment Resisting Frame", Document No. :: IITK-GSDMA-EQ31-V1.0, Final Report :: A - Earthquake Codes, 2004.

[30] Uma, S.R., and Jain, S.K., "Seismic Design of Beam-Column Joints in RC Moment Resisting Frames – Review of Codes", Structural Engineering and Mechanics, Vol. 23, No. 5 ,2006, pp: 579-597.

المراجع العربية

[31] د.م. حكمت إدوار زيربه، " تفصيلات تنفيذية لوصلات الإطارات البيتونية المسلّحة المقاومة لأحمال الزلازل" محاضرة ضمن برنامج دورة حساب الأبنية على الهزات الأرضية، حلب، سوريا، 1999.

[32] " الكود العربي السوري لتصميم المنشآت بالخرسانة المسلّحة وملحقاته"، نقابة المهندسين السوريين، الطبعة الثالثة، دمشق، 2004.

جدول المختصرات للأسماء الواردة في الأطروحة:

الاختصار	التفسير باللغة الانكليزية	التفسير باللغة العربية
ACI	American Concrete Institute	المعهد الأمريكي للبيتون
EC	European Community	الكود الأوربي
SANZ	Sustainable Aotearoa Newzealand	جمعية المقاييس النيوزيلندية
CEB	Model Code for Seismic Design	الكود النموذجي للتصميم الزلزالي والصادر عن الهيئة الأوربية الدولية
RC	Reinforced Concrete	البيتون المسلّح
FEM	Finite Element Method	طريقة العناصر المنتهية